

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Таджикский технический университет
имени академика М.С. Осими



**"ЭНЕРГЕТИКА:
СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ"**

20 декабря 2023 года



Душанбе

2023

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон
ба номи академик М.С. Осимӣ

Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ – амалии:
«ЭНЕРГЕТИКА: ҲОЛАТ ВА ДУРНАМОИ РУШД»

20 декабри соли 2023

*Конференсия бахшида ба эълон гардидани солҳои
2020-2040 “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои
табиатиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи маориф”
ва тадқиқи он баргузор карда мешавад*

ISBN 978-99985-852-1-8

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Таджикский технический Университет
имени академика М.С. Осими

Материалы международной научно – практической
конференции:

**«ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ»**

20 декабря, 2023 года

***Конференция проводится в рамках мероприятий
по реализацию программы
«Двадцатилетием изучения и развития
естественных, точных и математических наук в
сфере науки и образования»***

ISBN 978-99985-852-1-8

*Материалы Международной научно – практической конференции:
«ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»
Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими –
Душанбе: ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими, 2023.- 606 стр.*

Настоящий сборник содержит материалы Международной научно – практической конференции: «ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ», проведенной 20 декабря 2023 г. на базе Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими. В пленарных и секционных докладах обсуждаются проблемы электроэнергетики, автоматизации и управления технологическими процессами в энергетике.

***Верстка материалов докладов проведена на основе
представленных авторами электронных версий без
редактирования их текста!***

*Маводи конференсияи байналмилалии илмӣ – амалии «ЭНЕРГЕТИКА:
ҲОЛАТ ВА ДУРНАМОИ РУШД» / Доншигоҳи техникии Тоҷикистон ба номи
академик М.С. Осимӣ – Душанбе, ШТН ДТТ ба номи акад. М.С. Осими,
2023.-606 саҳ.*

Дар маҷмӯаи мазкур маводи конференсияи байналмилалии илмӣ – амалии: «ЭНЕРГЕТИКА: ҲОЛАТ ВА ДУРНАМОИ РУШД», ки 20 декабри соли 2023 дар ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ баргузор гардид, ҷамъоварӣ шудааст. Дар маърузаҳои ифтитоҳӣ ва бахшҳои алоҳидаи конференсия проблемаҳои электроэнергетика, рақамикунонӣ, автоматикунонӣ ва идораи равандҳои технологӣ дар энергетика баррасӣ ва муҳокима карда мешаванд.

***Саҳифабандии маҷмӯаи мазкур дар асоси дастнависҳои
пешниҳоднамудаи муаллифгон бидуни таҳрир иҷро шудааст!***

Состав организационного и научного комитета:

Абдуллозода Р.Т.	Проректор по науке и инновациям
Рахимзода Дж.Б.	Доцент кафедры «Электрические станции», председатель
Мирзозода Б.М.	Доцент кафедры «Релейная защита и автоматизация энергосистем» секретарь
Вохидов М.М.	Заместитель декана энергетического факультета по учебной работе
Ахъёев Дж.С.	Заместитель декана энергетического факультета по учебной работе
Киргизов А.К.	Заведующий кафедрой «Теоретические основы радио электротехники»
Насриддинов А.С.	Заведующий кафедрой «Физика»
Исмоилов Ф.О.	Заведующий кафедрой «Электроснабжение»
Султонзода Ш.М.	Заведующий кафедрой «Электрические станции»
Диёрзода Р.Х.	Заведующий кафедрой «Автоматизированные электропривод и электрические машины»
Тагоев С.А.	Заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и теплотехника»
Бобозода Ш.А.	Заместитель декана энергетического факультета по воспитательной работе

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ – 1	15
АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЛ 10 КВ ЭЭС ПАМИРА	
<i>Абдулхаев М.И.</i>	16
METHODS OF DEFECT ELIMINATION IN THE PROCESS OF COOLING OF STATOR COILS OF HIGH CAPACITY TURBOGENERATORS	
<i>Pirmatov N.B., Shernazarov S.E., Egamov A.M.</i>	23
НОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ В РЭС	
<i>Агеев П.А.</i>	30
РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	
<i>Бобоев Х.Д., Рахимов М.К., Гулов Д.Ю., Курбонова Н.Дж.</i>	35
ГРАНУЛЯТ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД КАК АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО	
<i>Гоголь Э.В., Токмаков Р.А.</i>	40
СПОСОБ РАСЧЕТА УЩЕРБА МОНОПОТРЕБИТЕЛЯ ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВСЛЕДСТВИЕ НАРУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	
<i>Горишунов А.А.</i>	45
МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ – НЕОБХОДИМОСТЬ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	
<i>Арабов Ф.Д., Давлатмамадов Н.Г., Ёров Х.М.</i>	49
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНТУРОВ ЗАЗЕМЛЕНИЙ ПОСТОВ ЭЦ НА ЗАБЖД С УЧЁТОМ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Данилова А.Ю.</i>	55
КОНДУКТИВНАЯ НИЗКОЧАСТОТНАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПОМЕХА ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ	
<i>Денчик, Ю.М., Романов М.Н., Дворцов П.П., Иванов Д.М.</i>	61
СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЖИМА АВТОКОЛЕБАНИЙ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ДЛИННОЙ ЛИНИИ	
<i>Дидух Д.Р.</i>	67
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ 6 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДЫХ КАМЕННЫХ УГЛЯХ	
<i>Егорова Е.В., Сальников В.Г., Иванова Е.В.</i>	74

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (АСЭ) ДО 1000 В С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Ившина К.В.</i>	79
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ	
<i>Пирматов Н.Б., Абдуллабекова Д.Р.</i>	84
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВОЙНЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛЭП ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	
<i>Крюков А. В., Овечкин И. С.</i>	90
РАСЧЁТ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ MATLAB SIMULINK	
<i>Бейтуллаева Р.Х., Нурова М. А.</i>	96
СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕМКОСТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	
<i>Морозов Е.А.</i>	101
К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ВЫСШИМ ГАРМОНИКАМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РЕГИОНЕ	
<i>Неугодников П.Е., Суворов И.Ф., Рыбакова И.Ю.</i>	107
НЕОБХОДИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К СНИЖЕНИЮ РИСКОВ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ И ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ОСОБЕННО В КОНТЕКСТЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 6-10 КВ	
<i>Огурицов Д.А.</i>	111
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ ВНУТРИЗАВОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ЦЕХОВОЙ СЕТИ	
<i>Р.М. Петрова</i>	116
К ВОПРОСУ КООРДИНАЦИИ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ	
<i>Шарипов Э.</i>	122
СКИН-ЭФФЕКТ В ВЫСОКТЕМПЕРАТУРНОМ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ТРАНСФОРМАТОРЕ НА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	
<i>Галеев Р.Г.¹ Реутов С. Н.²</i>	127
РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ПВК MATLAB/SIMULINK И ЕЕ ВЕРИФИКАЦИЯ	
<i>Одинабеков М.З., Сидиков Ш.Н.</i>	132

ИЗМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИИ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Манусов В.З¹., Иванов Г.В².....</i>	<i>138</i>
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ И СРОКА СЛУЖБЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10КВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ELCUT <i>Цицонь И.И.¹, Грачева Е.И.¹.....</i>	<i>145</i>
ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	150
ВОПРОСЫ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛА НАГРУЗКИ <i>Григорьев А. А., Иванова Е.В., Степанов А. А., Швайко В. В.....</i>	<i>155</i>
ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ ПО ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ЭЭС ТАДЖИКИСТАНА <i>Эшов З.С.....</i>	<i>164</i>
ҲИСОБ КАРДАНИ РЕҶАҶОИ РЕЗОНАНСӢ ДАР ШАБАКАҶОИ ЭЛЕКТРИКӢ, ҲАНГОМИ МАВҶУД БУДАНИ МАНБАӢҶОИ ГАРМОНИКАИ ОЛӢ <i>Саидбеков З.Х¹., Ҷаборов М.К²., Қаюмов А.Ғ².....</i>	<i>168</i>
СТАТИЧЕСКО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ РОТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА <i>Милютин Р.С.....</i>	<i>176</i>
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЕКАНИЮ ТОКА ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ <i>Сайфиддинзода О.С.....</i>	<i>179</i>
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА <i>Махмудов И.Х., Усмонов Х.И.....</i>	<i>182</i>
ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И МЕТОДЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ <i>Зоиров А.С, Наимов С.Х., Рахматов Р.Дж.....</i>	<i>187</i>
ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ <i>Надиоров У.Н., Нурализода А.Н., Тимерова М.М.....</i>	<i>191</i>
СЕКЦИЯ – 2.....	197
ВЛИЯНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ БАСЕЙНА РЕК НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАЛЫХ ГЭС <i>Арабов Ф.Д.....</i>	<i>198</i>
ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ СО СТРАТЕГИЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	

<i>Ёров Х.М., Давлатмамадов Н.Г.</i>	203
КОМБИНИРОВАННЫЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ	
<i>Мингазетдинов И.Х., Мальцева С.А., Ащеулова М.С.</i>	206
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	
<i>Шарифов Б.Н., Давлатов А.А., Сайфуллоева О.М.</i>	210
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ СОЛНЦА В РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	
<i>Саидзода Х.С.</i>	217
ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОСТОЧНОГО ВЫСОКОГОРНОГО МУРГАБА	
<i>Саидзода Х.С.</i>	223
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
<i>Сафаров М.И., Саидов М.А., Вайсиддинов Д.Т., Юнусов С.Р.</i>	232
ДЕГРАДАЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ	
<i>Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Рахимов З.С.</i>	241
РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ ПУТЬ К ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИИ	
<i>Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Раунов Н.М.</i>	249
УПРАВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ	
<i>Марченко А.И., Мурашкина И.С., Одинабеков М.З.</i>	258
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ГБАО РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	
<i>Шарипов Ф.К., Сайфуллоева О.М., Сабуров Ш.М.</i>	264
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
<i>Манусов В.З.¹, Ахъёев Дж.С.², Назаров М.Х.¹, Бобозода Ш.А.².</i>	272
РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	
<i>Пирова Ш.Х., Бобозода Ш.А., Лайлои И.</i>	276
МОДЕЛИ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ	
<i>Хабибов О.С., Раджабеков М.Х., Мусоев Ф.Ш.</i>	282

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СРЕДНЕ- И ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ	
<i>Раджабеков М.Х., Давлатмамадов Н.Г., Сулаймонов Б.Дж.</i>	290
АНАЛИЗ НЕЧЕТКИХ ПРИЗНАКОВ НЕИСПРАВНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
<i>Салимов Н.М., Саидов М.А., Азимов О.С.</i>	297
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОМОК И ДЕФЕКТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТА МОЛОЙ ГЭС, РАБОТАЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНО СЕТЬЮ	
<i>Гуламов Ш.Р.</i>	304
ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГИДРОГЕНЕРАТОРА МАЛЫХ ГЭС	
<i>Сафаров М.И., Вайсиддинов Д.Т., Саидов М.А., Раджабеков М.Х.</i>	311
К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТИКАЛЬНО ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ КАРУСЕЛЬНОГО ТИПА	
<i>Шарипов Ф. С.</i>	318
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	
<i>Шарипов Ф.К., Сайфуллоева О.М., Сабуров Ш.М.</i>	324
СОҲТМОНИ НЕРҶОҶҶОИ ХУРДИ БАҶҚИ ВА МОҶИЯТИ ИҶТИМОИИ ОНҶО	
<i>Алимардонов Б.М.</i>	334
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	
<i>Ибрагимова Э.И.</i>	339
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА НА ГИДРОРЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	
<i>Бобоев А.А.</i>	345
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ В ЖКХ	
<i>Бобоев А.А.</i>	349
ЛОПАСТЬ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНО ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	
<i>Рахимов Ф. М.</i>	353
ЗАХИРАҶОИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҶУРИИ ТОҶИКИСТОН	
<i>Пирова Ш.Х.</i>	358
ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГЭС В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ	
<i>Раджабов М.Ш., Хабибов О.С., Рахимов Б.С.</i>	361

СЕКЦИЯ – 3	366
К ПРОЦЕССУ СУШКИ В ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ	
<i>Бадалов А.А., Бадалова Д.А.</i>	367
ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВОЙ ЖИДКОСТИ В ДЕМПФЕРЕ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	
<i>Бородина О.Ю.</i>	370
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ТЕПЛИЦЕ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДОЙ	
<i>Вахидов У., Анарбаев А.И.</i>	377
ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОРОШКОВ НЕГАШЁНОЙ ИЗВЕСТИ, ФЛЮОРИТА И МЕДИ ОТ ВРЕМЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ	
<i>Зарипов Дж.А., Додхоев Э.С., Пирмадов М.Д.</i>	386
РАЗРАБОТКА СПОСОБА И СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ТЕПЛО– И ВОДОСНАБЖЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ	
<i>Суворов И.Ф., Игнатъев Д.А., Палкин Г.А.</i>	389
ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАГРЕВА МНОГОФАЗНОГО ПРОТОЧНОГО БИОГАЗОВОГО РЕАКТОРА ОТ СОЛНЕЧНО- ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ С НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА ОТ СТОЧНЫХ ВОД	
<i>Каракулов А.Н., Анарбаев А.И.</i>	395
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СИСТЕМЫ ГЛИЦЕРИН+ВОДА	
<i>Зарифзода М.А. (Зарипова М.А.), Сафаров П.М.</i>	402
ТАЪСИРИ НАНОХОКАҲО (ДУДА, ГРАФИТ ВА ХОКАҲОИ МЕТАЛЛӢ) БА ТАҒЙИРӢБИИ ХОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКӢ ВА ЭЛЕКТРОФИЗИКИ ПОЛИМЕРҲО	
¹ <i>Муҳаммадали Қ.,</i> ² <i>Сафаров М.М.</i>	408
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА	
<i>Мингазетдинов И.Х., Желовицкая А.В., Ибрагимов Т.А., Галяветдинов И.Р.</i>	412
ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ	
<i>Павлов П.И.¹, Савинов А. В.¹, Захаров Ю.А.¹, Дивин А.Г.¹</i>	416
РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИОСТАТОВ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЕЙ И ТРАНСФОРМАТОРОВ С КРИОГЕННОЙ СРЕДОЙ	
<i>Рыковский Н.А., Кузьменко С.В.</i>	419
СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ КОМПОЗИТОВ	
<i>Аминов Дж.Б., Рахимов Б.Н.</i>	424

ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ПОЖАРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ <i>Синицин В.И., Шильникова Е.А., Рослякова О.В.</i>	428
ТЕПЛОПОВОДНОСТЬ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА, НАСЫЩЕННОГО УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ <i>Рамазанова А.Э.</i>	433
УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛИОАЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ (ТЕПЛОВОЙ) ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ <i>Тагоев С.А.</i>	438
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ <i>Аминов Дж.Б., Рахимов Б.Н.</i>	442
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛАМАЛОЙ МОЩНОСТИ <i>Хужаев П.С., Исматуллозода Дж.И., Холмуратов Т.Р.</i>	445
ОМИЛҶОИ СИФТИ ҲАВОИ ТОЗАИ ҲУЧРАҶОИ ИСТИҶОМАТИ ВА БЕҲТАР НАМУДАНИ ОН <i>Хуҷаев П.С., Почоев М.М., Исматуллозода Ҷ.И., Абдуганиев А. М.</i>	452
ОСОБЕННОСТИ УЛУЧШЕНИЮ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЯХ <i>¹Хужаев П.С., ¹Хасанов Н.М., ¹Исматуллозода Дж.И., ²Сулейманова Н.А.</i> 461	461
ТАҒЙИРЁБИИ НУҒУЗПАЗИРИИ ДИЭЛЕКТРИКИИ МАҲЛУЛИ ОБИИ ГИДРАЗИН ВОБАСТА АЗ КОНЦЕНТРАТСИЯ ВА ҲАРОРАТ СОЗДАНИЕ ФОРСУНОК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ SLM-ПЕЧАТИ <i>Черепанов Р. В.</i>	474
ТЕПЛО-МАССООБМЕН ПРИ СУШКЕ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩЕГО ПОЛИМЕРА В АППАРАТЕ ФОНТАНИРУЮЩЕГО СЛОЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ВВОДОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ <i>Шаисламов А.Ш., Жураев Р.Р.</i>	479
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ <i>Шаисламов А.Ш., Рузиев Ф.Ф., Махмудова Д.Р.</i>	483
САРҶАИ ЭНЕРГИЯ ДАР НУҚТАҶОИ МАРКАЗИИ ГАРМӢ <i>Алимардонов Б.М., Раҳимов Ш.С.</i>	488
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА <i>Зиязов Дмитрий Романович</i>	491
СЕКЦИЯ – 4	495
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ – ГАРАНТИЯ СТАБИЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ТАДЖИКИСТАНА <i>Самади Ш.Д.</i>	496

ПРОГРЕСС В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЧЕТЧИКОВ: ТРАНСФОРМАЦИЯ СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ	
<i>Давлатов М.Д.</i>	502
МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	
<i>Бранцевич П.Ю.</i>	505
ВЛИЯНИЯ РАЗНОВРМЕННОСТИ КОММУТАЦИИ СИЛОВЫХ КОНТАКТОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОНТАКТОРОВ И ПУСКАТЕЛЕЙ НА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	
<i>Суворов И.Ф., Ежиков Т.В., Серезжин К.С.</i>	511
УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ВЫБЕГА	
<i>Забелин В. О., Суворов И. Ф., Иванов А.А., Серезжин К.С.</i>	515
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕГУЩИХ ВОЛН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	
<i>Лачугин В.Ф., Ятимов И.М.</i>	521
СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ РЗ	
<i>Сафронов Б.А., Иванов А.А., Маринов. Я.А., Малютин М.С.</i>	526
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ	
<i>Козлова Н. С., Ахметзянов А. Ф., Зорин Е. И.</i>	531
РАСЧЕТНОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ НИЗКОВОЛЬТНЫХ МАГНИТНЫЙ ПУСКАТЕЛЕЙ	
<i>Петров А.Р.</i>	537
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	542
<i>Шарифов Б.Н., Шарипов Н.Д., Давлатов А.А.</i>	542
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ	
<i>Шарифов Б.Н., Давлатов А.А., Чалолзода Э.А.</i>	546
РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	
<i>Романенко П. А., Козлова Н. С.</i>	551
РОҶ БА СЎИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ ҲОЗИРАЗАМОН	
<i>Аминов Ш.А. Маҳкамова И.И.</i>	554

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	
<i>Соловьев С.Д., Козлова Н.С.</i>	558
ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ОДНОФАЗНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В ЛИНИЯХ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОЛУФАЗАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ШУНТИРОВАНИЯ ФАЗЫ	
<i>Махмудов К.А.</i>	562
ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА УСИЛЕНИЯ ЛИМИТИРУЮЩИХ МПЗ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТЭ УЧАСТКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ	
<i>Фареныйк В.В.</i>	566
О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ В ТРАНСФОРМАТОРАХ	
<i>Шарипов М.М. Джамшедзода Х., Аминова С.М.</i>	572
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ КОММУТАЦИИ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ	
<i>Шитик Т.В.</i>	576
ЭВАЛЮАТСИЯИ ПАЙДОИШ ВА ИСТИФОДАБАРИИ 5G ДАР ЧАҲОНИ МУОСИР	
<i>Аминов Ш.А., Махкамова И.И.</i>	582
ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИИ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
<i>Эшов З.С.</i>	590
РАЗРАБОТКА И УЛУЧШЕНИЯ СХЕМЫ АЧР ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DIGLILENT	
<i>Махмадсаидзода М.М. Аминова С.М. Джамшедзода Х.</i>	594
ХУСУСИЯТҲОИ ҶИМОЯИ ДИФФЕРЕНЦИАЛИ ТУЛИИ МИКРОПРОТЕССОРИИ ТРАНСФОРМАТОР	
<i>Раҳимов М.Қ., Хокиров К.И. Насруллоев Д. Х. Рустамзода С. Р.</i>	598
ДАСТГОҲҲОИ МИКРОПРОТЕССОРИИ ҶИМОЯИ РЕЛЕЙ	
<i>Раҳимов М.Қ., Хокиров К.И., Рустамзода С. Р., Муҳаммадиев Т. Р.</i> ...	602
РАСЧЕТЫ РЕЖИМА РАБОТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ РЕГАР – СУРХАН	
<i>Билолов Б.М.</i>	607

СЕКЦИЯ – 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЛ 10 КВ ЭЭС ПАМИРА

Абдулхаев М.И.

ТТУ имени академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан

E-mail: jahon_nstu@mail.ru

Научный руководитель – Худжасаидов Дж.Х.

***Аннотация:** Качество электроэнергии у потребителя в энергосистеме зависит прежде всего от работы распределительных и передающих сетей, регулирования частоты и мощности в энергосистеме, регулирования реактивной мощности и напряжения в контрольных точках и др. Снижение качества электрической энергии может привести к заметным изменениям режимов работы электроприёмников и в результате уменьшению производительности рабочих механизмов, ухудшению качества продукции, сокращению срока службы электрооборудования, повышению вероятности аварий. В работе приведен анализ показателей качества ЭЭ на примере реконструкции ВЛ 10 кВ в электрических сетях Памира.*

***Ключевые слова:** качество электрической энергии, напряжение, потери, нагрузка.*

ANALYSIS OF ELECTRIC POWER QUALITY INDICATORS USING THE EXAMPLE OF RECONSTRUCTION OF 10 KV OHL EPS PAMIRA

***Annotation:** The consumer's electricity in the power system depends primarily on the operation of distribution and transmission networks, regulation of frequency and power in the power system, regulation of reactive power and voltage at control points, etc. A decrease in the quality of electrical energy can lead to accelerated changes in the operating modes of electrical receivers and, as a result, to a decrease in the productivity of work processes, a decrease in product quality, a reduction in the service life of electrical equipment, and an increase in the likelihood of an emergency. The paper provides an analysis of energy efficiency indicators based on the reconstruction of 10 kV overhead lines in the Pamir electrical networks.*

***Key words:** quality of electrical energy, voltage, losses, load.*

Решение о реконструкции фидера РП было принято на основании морального и физического устаревания существующего оборудования, которое было не в состоянии обеспечивать надежность и качество электроснабжения.

Целью реконструкции является обеспечение надёжности, рациональное использование существующих и вновь смонтированных сетей. Обеспечить бесперебойное и качественное энергоснабжение потребителей РП.

В работе рассматривается электрическая сеть 10 кВ, включающая в себя трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ. Трехфазный ток КЗ на шинах 10 кВ РП $I_{кз.мах} = 5580$ А, $I_{кз.мин} = 4930$ А. Номинальное напряжение на шинах 10 кВ РП $U_{ном.мах} = 10.5$ кВ, $U_{ном.мин} = 9,5$ кВ.

При реконструкции сети предусматривается изменение электрических параметров, установка дополнительного оборудования для повышения надежности электроснабжения, качества электроэнергии и пропускной способности. Так же может производиться замена проводов и кабелей на линиях, замена коммутационных аппаратов.

По данным, на фидере РП – 10 кВ пять трансформаторных подстанций физически устарели и требуют замены, так же планируется перейти на кольцевую схему сети для увеличения надежности электроснабжения. Кроме того, требуют замены и унификации существующие линии электропередачи.

Определение режимов существующей сети

Проведем расчет режимов существующей электрической сети с помощью программного комплекса RastrWin3. Целью данного расчета является определение параметров режимов, выявление возможностей дальнейшего повышения экономичности работы сети и получение необходимых данных для решения вопросов регулирования напряжения. В электрический расчет входят распределение активных и реактивных мощностей по участкам сети, вычисление потерь активной и реактивной мощностей, а также расчет напряжений на шинах потребительских подстанций в основных нормальных и послеаварийных режимах работы. Программный комплекс RastrWin3 позволяет выполнить:

- расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и сложности, любого напряжения (от 0.4 до 1150 кВ).
- оптимизацию электрических сетей по уровням напряжения, потерям мощности и распределению реактивной мощности;
- моделирование отключения ЛЭП, в том числе одностороннего, и определение напряжения на открытом конце; и многое другое.

Перед проведением расчетов по программе надо подготовить исходные данные по схеме, нагрузкам и генераторам электрической сети в форме, понятной RastrWin.

В качестве базового узла принимается узел 11111. Пронумерованная схема существующей сети в нормальном режиме, с указанием всех узлов и ветвей показана на рисунке 1, а на рисунке 2 – в послеаварийном режиме.

Активная и реактивная мощность потребления каждого узла заданы в таблице 2. Определим сопротивление линий электропередачи.

Активное сопротивление линии рассчитывается по формуле:

$$R = r_0 l \quad (1)$$

где r_0 – удельное активное сопротивление провода (кабеля), Ом/км; l – длина линии, км.

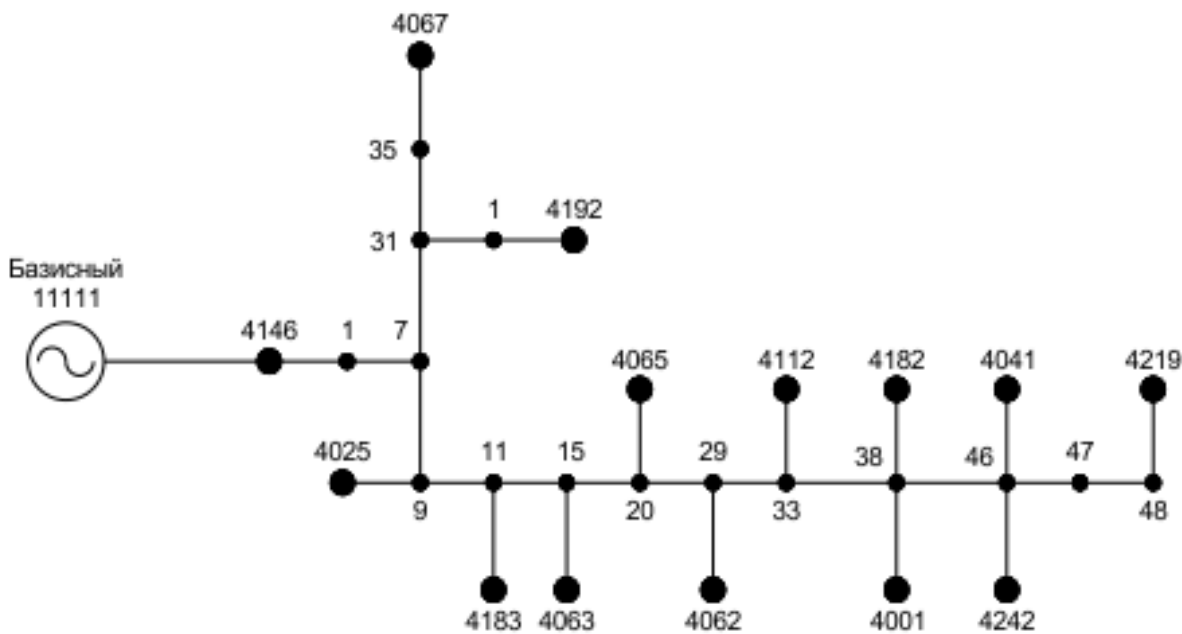


Рис 1. Существующая схема фидера РП 10 кВ в нормальном режиме работы с указанием номеров узлов

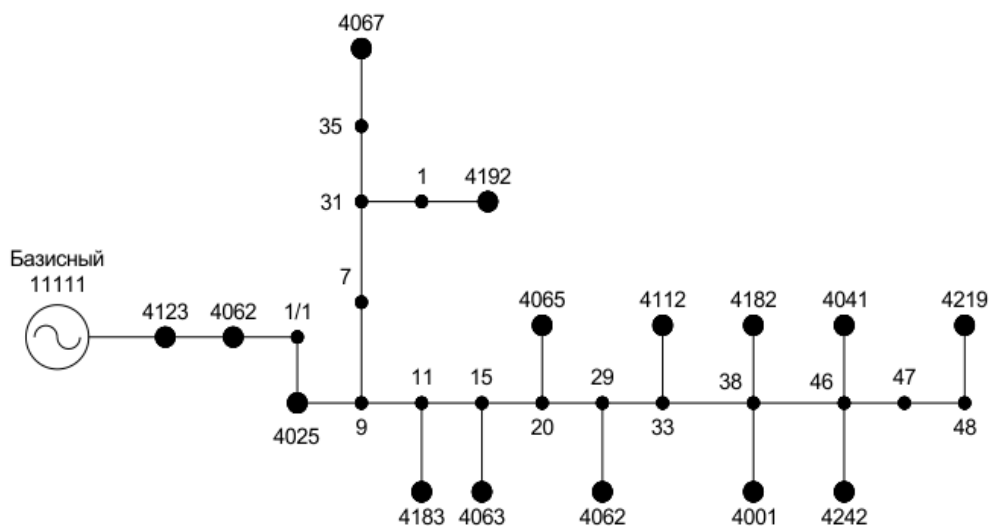


Рис 2. Существующая схема фидера РП 10 кВ в послеаварийном режиме работы с указанием номеров узлов

Реактивное сопротивление линии находится по формуле:

$$X = x_0 l \quad (2)$$

где x_0 – удельное реактивное сопротивление провода (кабеля), Ом/км; l – длина линии, км.

Расчет сопротивлений покажем на примере ветви 1-7, выполненной алюминиевым проводом А-70.

$$R = 0,46 \cdot 0,42 = 0,193 \text{ Ом}$$

$$X = 0,275 \cdot 0,42 = 0,116 \text{ Ом}$$

Вычисление сопротивлений остальных ветвей выполняется аналогично.

Расчет режимов существующей сети

Минимально необходимой информацией для каждого узла является его номер (Номер) и номинальное напряжение ($U_{\text{ном}}$). Для узлов нагрузки требуется дополнительно ввести активную и реактивную мощность потребления ($P_{\text{н}}$, $Q_{\text{н}}$). Для узла с генераторами или компенсаторами необходимо дополнительно задать пределы изменения реактивной мощности (Q_{min} , Q_{max}), в графе $V_{\text{зд}}$ для этих узлов указать заданный (фиксированный) модуль напряжения, который будет выдержан, если позволят пределы регулирования реактивной мощности. Один из узлов должен быть назначен базисным (балансирующим), для чего в меню Тип этого узла надо выбрать строку База.

Расчет максимального режима (зима) существующей схемы.

Данные, полученные в результате расчета максимального режима (зима), сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет максимального режима (зима) существующей схемы

№ Узла	$P_{\text{н}}$, кВт	$Q_{\text{н}}$, кВар	U , кВ	ΔU , %	$\Sigma \Delta P$, Вт
4067	190,082	180,578	10,440 0,350	0,571 / 7,895	51,61
4192	67,529	64,153	10,440 0,370	0,571 / 2,632	
4025	117,551	111,673	10,410 0,350	0,857 / 7,895	
4183	97,542	92,665	10,400 0,360	0,952 / 5,263	
4063	58,775	55,837	10,390 0,360	1,048 / 5,263	
4065	115,675	109,891	10,370 0,360	1,238 / 5,263	
4062	320,764	304,726	10,330 0,350	1,619 / 7,895	
4112	58,775	55,837	10,340 0,370	1,524 / 2,632	

4182	29,388	27,918	10,340 0,360	1,524 5,263	
------	--------	--------	-----------------	-------------	--

Как видно из таблицы 1 максимальная потеря напряжения на ЛЭП составляет 1,52%, потеря на трансформаторах – 7,90%, что не соответствует предельно допустимому значению в нормально режиме [1].

Мгновенные потери активной мощности на ЛЭП составляют 17,11 кВт, на трансформаторах – 31,5 кВт, а суммарные – 37,08 кВт

Расчет минимального режима (зима) существующей схемы.

Данные, полученные в результате расчета минимального режима (зима), сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет минимального режима (зима) существующей схемы

№ Узла	P _н , кВт	Q _н , кВар	U, кВ	ΔU, %	ΣΔP, кВт
4067	190,082	180,578	9,430 0,310	0,737/8,421	64,25
4192	67,529	64,153	9,440 0,330	0,632 /13,158	
4025	117,551	111,673	9,400 0,310	1,053 /18,421	
4183	97,542	92,665	9,390 0,320	1,158 /15,789	
4063	58,775	55,837	9,380 0,320	1,263 /15,789	
4065	115,675	109,891	9,360 0,320	1,474 /15,789	
4062	320,764	304,726	9,310 0,310	2,000 /18,421	
4112	58,775	55,837	9,330 0,330	1,789/ 13,158	
4182	29,388	27,918	9,320 0,320	1,895 /15,789	

Как видно из таблицы 2 максимальная потеря напряжения на ЛЭП составляет 1,52%, потеря на трансформаторах – 18,42%, что не соответствует предельно допустимому значению в нормально режиме [2,3].

Мгновенные потери активной мощности на ЛЭП составляют 25,04 кВт, на трансформаторах – 39,21 кВт, а суммарные – 64,25 кВт.

Расчет максимального послеаварийного режима (зима) существующей схемы.

Данные, полученные в результате расчета максимального аварийного режима (зима), сведены в таблицу 3.

Как видно из таблицы 3 максимальная потеря напряжения на ЛЭП составляет 1,714%, потеря на трансформаторах – 7,90%, что соответствует предельно допустимому значению в аварийном режиме [3].

Мгновенные потери активной мощности на ЛЭП составляют 24,15 кВт, на трансформаторах – 31,64 кВт, а суммарные – 55,79 кВт.

Таблица 3 – Расчет максимального послеаварийного режима (зима) существующей схемы

№ Узла	P _н , кВт	Q _н , кВар	U, кВ	ΔU, /%	ΣΔP, Вт
4067	190,082	180,578	10,380 /0,350	1,143 /7,895	55,7
4192	67,529	64,153	10,390 /0,370	1,048 /2,632	
4025	117,551	111,673	10,410 /0,350	0,857 /7,895	
4183	97,542	92,665	10,390 /0,360	1,048 /5,263	
4063	58,775	55,837	10,380 /0,360	1,143/ 5,263	
4065	115,675	109,891	10,360/ 0,360	1,333 /5,263	
4062	320,764	304,726	10,320/ 0,350	1,714 /7,895	
4112	58,775	55,837	10,330/ 0,370	1,619 /2,632	
4182	29,388	27,918	10,330 /0,360	1,619 /5,263	

Расчет минимального послеаварийного режима (зима) существующей схемы.

Данные, полученные в результате расчета минимального послеаварийного режима (зима), сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет минимального послеаварийного режима (зима) существующей схемы

№ Узла	P _н , кВт	Q _н , кВар	U, кВ	ΔU, /%	ΣΔP, кВт
4067	190,082	180,578	9,370 0,310	1,368 /18,42	70,10
4192	67,529	64,153	9,380 0,330	1,263/13,15	
4025	117,551	111,673	9,390 0,310	1,158/18,42	
4183	97,542	92,665	9,380 0,320	1,048/15,78	
4063	58,775	55,837	9,360 0,320	1,474/15,78	
4065	115,675	109,891	9,350 0,320	1,579/15,78	
4062	320,764	304,726	9,300 0,310	2,105/18,42	
4112	58,775	55,837	9,310 0,320	2,000/13,15	
4182	29,388	27,918	9,310 0,320	2,000/15,78	

Как видно из таблицы 4 максимальная потеря напряжения на ЛЭП составляет 2,105%, потеря на трансформаторах – 18,42%, что не соответствует предельно допустимому значению в аварийном режиме [3]. Мгновенные потери

активной мощности на ЛЭП составляют 30,07 кВт, на трансформаторах – 39,4 кВт, а суммарные – 69,11 кВт.

Заключение

В результате проведенного расчета режимов выяснилось, что, не смотря на реконструкцию фидера, выполненную с применением различных проводов и сечений, потери напряжения в ЛЭП не превышают допустимых 6%, а потери на трансформаторах в минимальном режиме работы составляют до 18%. Данные потери связаны с не правильной загрузкой трансформаторов. При увеличении нагрузки на трансформатор, выше номинального значения, происходит нагревание обмоток трансформатора и изоляционного материала, что приводит к снижению КПД. Увеличение потерь напряжения, также наблюдается при недогрузке трансформаторов (работа на 10-30% от установленной номинальной мощности) за счет потерь холостого хода. Для улучшения показателей качества и снижения потерь напряжения необходимо:

- произвести расчет и перераспределение нагрузок существующих подстанций;
- произвести выбор мощности трансформаторов;
- определить места посадки новых трансформаторных подстанций с учетом центра нагрузок;
- заменить существующие провода и кабели, которыми выполнена ЛЭП, изменить схему электроснабжения подстанций.

Литература

1. Журавлев Д. М. Анализ технических решений для обеспечения требуемых показателей качества электроэнергии у потребителей / Журавлев Д. М., Балаш О.В., Мураховец В. М. // Энергетик № 9 – 2013.
2. Суднова В.В. «Качество электрической энергии». Мир измерений №4, 2006 .
3. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии / Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. и др.; под ред. Ю.В.Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.

Сведения об авторах:

Абдулхаев Мусулмон Иссокович - магистрант 1-го курса группы 430101Б, кафедры «Электрические станции», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими.

METHODS OF DEFECT ELIMINATION IN THE PROCESS OF COOLING OF STATOR COILS OF HIGH CAPACITY TURBOGENERATORS

Pirmatov N.B., Shernazarov S.E., Egamov A.M.

Tashkent State Technical University

E-mail: npirmatov@mail.ru

Abstract: *The paper shows the technical efficiency of improving the maintenance and repair systems in the cooling system of large capacity turbogenerators to extend their service life by introducing new, non-normative means of analysis and control on the example of mass series TVB turbogenerators.*

Today cooling of stator coils of turbogenerators of mass series TVB at thermal power plants causes a number of problems in hot summer days, as a result of which most of the generated electricity is wasted in the cooling system, water in the stator coils in hot summer days overheat in the channel, in the holes of the coils, as a result of frequent filling and clogging of distilled water without good passage of cores in the wedge heats up and adversely affect the cooling of the stator winding core of the turbogenerator, as a result, in order to reduce the cooling of the stator coil.

Keywords: *thermal power plant, turbogenerator, stator, feed, pipe insulation, cooling, resistance thermometer, wedge plate, operational tests.*

МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ПРОЦЕССЕ ОХЛАЖДЕНИЯ КАТУШЕК СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация: *В статье показана техническая эффективность совершенствования систем технического обслуживания и ремонта в системе охлаждения турбогенераторов большой мощности для продления срока их службы путем внедрения новых, ненормативных средств анализа и контроля на примере турбогенераторов ТВБ массовой серии.*

Сегодня охлаждение обмоток статора турбогенераторов массовой серии ТВБ на тепловых электростанциях вызывает ряд проблем в жаркие летние дни, в результате чего большая часть вырабатываемой электроэнергии теряется в системе охлаждения, в знойное лето в обмотках статора попадает вода. дней перегрева в канале, в отверстиях катушек, в результате частого залива и засорения дистиллированной водой без хорошего прохождения сердечников в клине нагреваются и отрицательно влияют на охлаждение сердечника обмотки статора турбогенератора, так как в результате, чтобы уменьшить охлаждение катушки статора.

Ключевые слова: тепловая электростанция, турбогенератор, статор, питание, изоляция труб, охлаждение, термометр сопротивления, клиновья пластина, эксплуатационные испытания.

Currently, about 54% of the capacity of thermal power plants installed in foreign countries is provided by water-cooled turbogenerators with the capacity of 160-1200 MW. These are mainly TVB series turbogenerators, the installed capacity of which is more than 90% of the total installed capacity of the power units under consideration.

More than 50% of the total number of these generators are categorized as "old" according to the development criterion of 25 years of normative service life established in the standards. In recent years they have not been replaced due to technical and economic reasons.

Therefore, it is important to develop new methods and means of technical analysis of electrical equipment and introduce them in manufacturing industries, especially when operating under load [1-2].

In the case of TVB series turbogenerators, one of the urgent problems of the present day is to determine the technical efficiency of increasing the service life of new, non-standard turbogenerators of high capacity through the introduction of means of analysis and control, improvement of maintenance and repair systems. turbogenerators of high capacity.

As a result of using water cooling, the voltage on the stator winding is almost two times lower than in case of gas cooling. This scheme provides increased reliability of the turbogenerator at high current density.

Distilled water is passed through porous conductors to cool the stator coil. The tips for pumping distilled water are welded to the porous channels at the ends of the struts. The ends are soldered to the rods with silver solder. The electrical connection of the stern was made by a plug welded with copper wire and tin. The chulgam rods are sealed along the wedge walls with corrugated semiconductor plugs and fixed to the wedge with special plugs. Fastening of the front parts is carried out with the help of molded material.

There are ring manifolds for supply and discharge of cooling water to the stator windings. The manifolds were connected to the pipes using hoses made of insulating material. The cooling water passes through two consecutively connected sterns, tires and outlet openings. In order to control the filling of the collectors with water and removal of air from them, drainage spigots with ends outside the stator housing are installed at their upper points.

During operation of the turbine generator for continuous removal of air from the cooling system of the stator coil it is necessary to open the taps in the drain pipes

so that the water is drained to a minimum level.

Control of the degree of distillate passage in the stator coil sturgeons is carried out by measuring the temperature with the help of thermistors placed under the plug in each slit of the stator steel core.

Nevertheless, at jamming of hollow conductors due to high current density the temperature of copper in the conductors increases, which has a significant impact on the intensity of wear and reliability of the conductor due to heating of the insulation. The results of the conducted experiments show that at blocking of two hollow conductors their temperature can rise to values exceeding the norm in 3-3,5 times. At the same time, the probability of pipe insulation failure increases more than 100 times. In practice there are cases of such failures in turbogenerators of TVV-165-2, TVV-325-2, TVV-800-4, TVV-1000-4 series. Therefore, the temperature of the generator working coil is carefully controlled under operating conditions.

In TVB series generators, the tank temperature is measured by draining the distillate with a resistance thermometer mounted on the insulation of each tank. In the upper wedges, the resistance thermometer is placed under the wedge near the plug lead. In generators 325 MW and above, the lower booms are cooled independently of the upper parts and are monitored by a resistance thermometer placed on the side surface of the front of the boom.

Normative methods of control of thermal condition of tubes [3-5] provide for control of tube temperature and its exceeding the cooling water temperature. For example, according to [3] the sign of a tank cooling defect is resistance thermometer readings exceeding 75°C or the difference between the maximum and nominal tank temperature exceeding 25°C. According to [4] and [5], a sign of a defect is an increase in tank temperature of more than 5°C.

Despite the significant increase in the temperature of the blocked conductors, if there are conductors providing distillate circulation between the blocked conductors and the resistance thermometer, the change in the resistance thermometer reading is not so great. Such changes often do not exceed the 5 °C limit established [4]. They are difficult to detect with noise caused by changes in the generator operating mode parameters.

In addition, the sensitivity to temperature change of the copper coil of the resistance thermometer depends significantly on the degree of insulation of the coil of the resistance thermometer. For example, when the wedge gap is weakened, the insulation of the resistance thermometer is weakened, the hydrogen blowing of the resistance thermometer body increases, and the sensitivity of the resistance thermometer decreases.

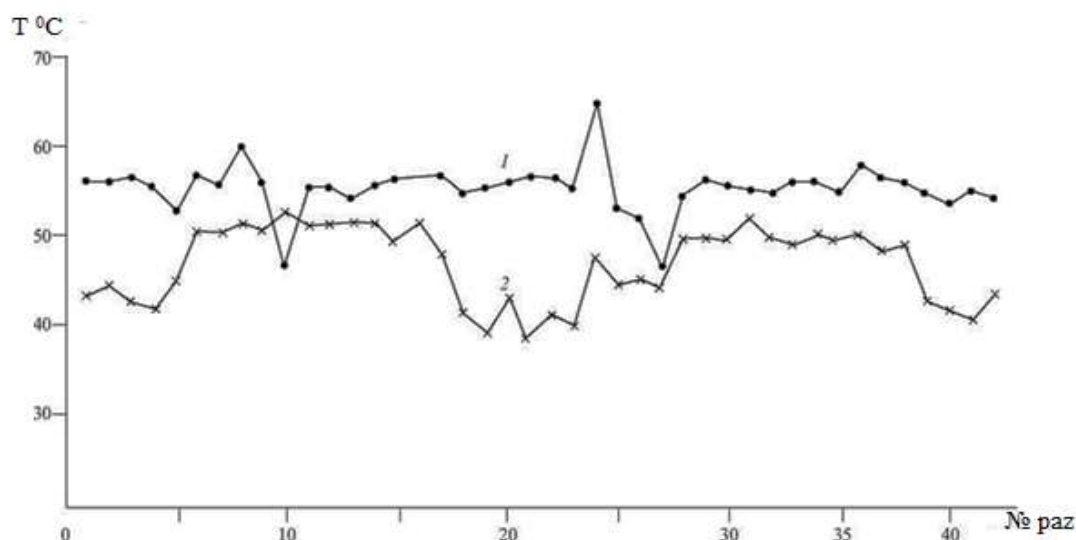


Figure 1: Temperature distribution around the stator winding of TVB-325-2 turbogenerator at stator current 11040 A:
1-high sturgeon; 2-bottom feed

By the parameter of the sensitive element it is possible to estimate the state of thermal contact between the surface of the resistance thermometer and the insulation of the wedge, which is an estimate of the sensitivity of the resistance thermometer, and the reading of the resistance thermometer is equal to the response of the resistance thermometer reading in percent to a 1°C change in the temperature of copper in the wedge. The sensing element parameter can be determined using the technique described in the literature [6] of a generator operating under a constant load by measuring the response of the resistance thermometer reading to a change in cold distillate temperature. In this case, the change in the copper temperature corresponds to the change in the distillate temperature.

In fact, the values of the resistance thermometer under the plug range from 0 to 0.5. Due to loosening of the plug slots during operation and re-locking of the slots during preventive maintenance, the parameter of the sensing element varies within the specified range.

The parameter of the sensitive element of the resistance thermometer on the side surface of the boom (the lower boom of turbine generators of 325 MW and above) is from 0 to 0.7 and depends on the quality of installation of the resistance thermometer on the boom. boom of the generator in the process of production. In addition, the share of tubes with resistance thermometer sensitivity close to zero (the value of the sensing element is 0.15) is about 12%. Such feeds are not controlled by heating during operation. Due to these circumstances, standard control methods have low efficiency of detecting blockages in hollow conductors. Thus, according to [7] the probability of detecting a technical defect is about 25% [4], and the probability of detecting a

technical defect is even lower and close to zero [3], which is confirmed by the following examples.

Figure 1 shows the temperature of stator windings of one of TVB-325-2 generators in the load mode close to nominal. According to the criteria [3], the stator has no defects trapped in the hollow windings. For the 24th pass with a maximum rack temperature of 75°C, the rack temperature is 51°C, which does not exceed the permissible limit of 75°C. A maximum temperature difference of 11°C is observed along the upper sturgeons, and (sturgeons in wedges 10 and 21) it can be seen that it does not exceed the permissible value of 25°C.

Compared to the data of the first thermal tests, the temperature of the upper chulgums at pass 10 and 24 increased significantly, where a temperature rise to 11°C and 13°C was recorded, respectively, which is significantly higher than the norm of 5°C. This case is shown in [4, 5]. However, during overhaul and hydraulic tests of the turbine generator, clogging of the cooling channels of these tubes was not found. For example, the control distillate flow rate at the sixth upper sturgeon was 0.304 l/s with the minimum permissible 0.267 l/s.

It turns out that the relative temperature increase in these sturgeons is associated with the appearance of defects in the form of systematic measurement errors in the temperature measurement channels. In the course of repairs, during hydraulic tests for stern passability, it was found that the cooling channels of completely different feeds were clogged, i.e. in the upper pipes of the 10th and 21st wedges and the lower ones in the 24th wedge, which should be lower than the manufacturer's standard. The distillate consumption of these sturgeon is 80.6; 72.0 and 50.7% of the nominal value, respectively.

Generators with lower power ratings are less likely to have insulation damage due to plugging of the hollow conductors. Nevertheless, during long-term operation with contamination of cooling channels, there have been cases of cracking and pressure reduction of hollow conductors due to increased thermal expansion due to increased thermomechanical stresses on the hollow conductors.

In one of such cases on turbogenerator TVV-320-2 due to blockage of the inlet fluoroplastic hose by a gasket, the temperature in the copper tube rose, according to later calculations, to about 100°C in serviceable condition. provided that the temperature in the copper tube was about 55°C. At the same time, the reference resistance thermometer did not exceed 65°C during load operation, which corresponds to the service method according to regulatory control methods. Therefore, the clog was not removed for a long time.

Hydrogen formation was observed in the standard gas trap when the generator was loaded. After unloading, the hydrogen in the gas tank disappeared. When the

generator was taken out for repair to find the source of the pressure loss and correct the defect, it was not found. Chulgam withstands repair fastening tests by air and hydraulic test methods. Using the analytical method of thermal analysis (AMTD) developed at the Research Institute, the defect was identified and subsequently eliminated. The AMTD method is based on special data processing of a standard thermal management system [7]. Preliminary data for the analysis are presented in the scientific paper [3], the results of operational thermal tests carried out in accordance with the requirements.

In this case, measurements should be carried out to determine the individual sensitivity of the reference instruments of the resistance thermometer described in [6]. Based on the results of temperature measurements in different modes of generator operation, the analysis parameters of each stergen are calculated according to equation (1).

$$\theta = \alpha + \beta \cdot I^2 \quad (1)$$

where θ is the integral parameter of the coil state, which represents the deviation of the coil temperature, calculated taking into account the design features of the generator, from the average temperature of the considered set of coils; α is the parameter of the temperature measurement channel state estimation, which changes when systematic measurement errors occur; β is the parameter of the cooling state estimation, which increases when the conductor gap is blocked by the value of the standard motor response; I^2 is the square of the stator current.

Analytical parameters are calculated using regression methods. The parameter S is introduced to detect defects in the temperature measurement channels leading to random measurement errors.

It represents the standard deviation of the measured values relative to the regression line according to the above, the sensing element parameter is introduced to monitor the state of the thermal contact between the surface of the wedge resistance thermometer and the insulation rod, which is evaluated. It is equal to the sensitivity of the resistance thermometer and copper temperature response by 1°C.

Conclusion

It is necessary to expand the normative operational testing of stator windings of water-cooled turbogenerators, especially stator windings of turbogenerators operating for a long time, including continuous control (diagnostics) of the technical condition of water cooling channels and proper stacking of stator windings on wedges, which will ensure the reliability of the turbogenerator. This reduces the service life of generators due to timely detection of hidden defects and their elimination [8-10].

References:

1. Проблемы технического перевооружения энергопредприятий РАО "ЕЭС России" и пути их решения / Ремезов А. Н., Романов А. А., Косинов Ю. П., Бржезьянский С. Э. - Электрические станции, 2000, № 1.
2. Электротехнические проблемы научно-технического прогресса электроэнергетики / Мамиконянц Л. Г., Мор-жин Ю. Н., Савваитов Д. С., Шакарян Ю. Г. - Электрические станции, 2000, № 1.
3. Методические указания по проведению испытаний генераторов на нагревание. РД 34.45.309-92. М.: СПО ОРГРЭС, 1993.
4. Эксплуатационный циркуляр Ц-10-85(Э) от 28 мая 1985 г. Об организации водно-химического режима системы охлаждения обмоток статоров турбо- и гидрогенераторов. Сб. решений и циркуляров ГТУ Минэнерго СССР за 1985 г (Электротехническая часть). М.: СПО Союзтехэнерго, 1986. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: ЭНАС, 1998.
5. Пат. 1836783 (РФ). Способ контроля креплений обмотки электрической машины / Поляков В. И. Опубл. в Б. И., 1993, № 31.
6. Поляков В. И. Методы диагностики технического состояния генераторов на основе штатных средств измерений: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М.: ВНИИЭ, 1992.
7. Поляков В. И. Метод и прибор для обнаружения нарушений герметичности системы водяного охлаждения обмотки статора работающего турбогенератора. М.: Вестник ВНИИЭ, 1997.
8. Overvoltage in the free phase of the stator winding in case of asymmetric short circuit implicit pole synchronous generator biaxial excitation. Pirmatov, N., Toshev, S.E3S Web of Conferences 139, 01030 (2019)
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901030>.
9. Effect of intermediate connections on the generator's static stability Шерназаров С.Э. «Technical science and innovation» -Тошкент, 2019. №2.С.184-189.
10. Пирматов Н.Б., Шерназаров С.Э., Д.К. Якубова, Т.Э. Рашидов Катта кувватли турбогенераторларнинг статор чулғами стерженларини тўлиб тикилиб қолиши натижасида улардаги қизишни бартараф этиш чоралари «Энергия ва ресурс тежаш муоммолари».-Т.: 2023. - №3. 58-68 б.

About the authors:

Pirmatov N.B. - Professor of "Electrical Machines" Department, Tashkent State Technical University named after I.Karimov.

S.E. Shernazarov - Tashkent State Technical University named after I.Karimov, Department of "Electrical Machines", basic doctoral student.

Egamov A.M. - Tashkent State Technical University named after I.Karimov, department "Electrical Machines", senior lecturer.

НОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ В РЭС

Агеев П.А.

*Научный руководитель: д.т.н., проф. Сидоров А.И.
(ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск, Россия)*

E-mail: pavel-ageew@mail.ru

Аннотация: В работе представлен обзор существующих показателей оценки производственного травматизма и предложены новые показатели производственного травматизма в распределительных электрических сетях.

Ключевые слова: травматизм, распределительные электрические сети, несчастный случай на производстве, электробезопасность

NEW INDICATORS FOR ASSESSING THE SECURITY LEVEL IN REN

Annotation: The paper provides an overview of existing indicators for assessing industrial injuries, and proposes new indicators of industrial injuries in electrical distribution networks.

Keywords: injuries, electrical distribution networks, industrial accidents, electrical safety

Самым простым методом оценки производственного травматизма является определение и анализ абсолютных показателей травматизма. К такому относятся, например, число несчастных случаев на производстве. Также, для более подробного анализа отдельно выделяют число смертельных несчастных, число групповых несчастных случаев, число тяжелых несчастных случаев.

К недостаткам такого подхода можно отнести отсутствие взаимосвязи данных показателей с факторами, влияющими на них. Это приводит к невозможности анализа причин несчастных случаев и построения каких-либо прогностических моделей. Так, например, увеличение числа несчастных случаев может быть вызвано не объективными факторами, связанными с нарушением требований охраны труда, а общим увеличением числа работников в данной отрасли. Для учета таких факторов принято рассматривать относительные показатели производственного травматизма.

Согласно [1], в качестве относительных показателей производственного травматизма используются:

Коэффициент частоты несчастных случаев – частота травматизма за отчетный период в расчете на 1000 работающих:

$$K_{\text{ч}} = \frac{A_{\text{нс}}}{\text{Ч}} \cdot 1000, \quad (1)$$

где $K_{\text{ч}}$ – коэффициент частоты несчастных случаев; $A_{\text{нс}}$ – число всех несчастных случаев; Ч – среднесписочная численность работающих за отчетный период.

К недостаткам коэффициента частоты относится его ограниченная применимость. Если расчет ведется не для всего предприятия, а для его части, например цеха, число работников может оказаться менее 500 человек, и коэффициент частоты перестает быть достоверным показателем.

Коэффициент частоты несчастных случаев не учитывает продолжительности потери работником трудоспособности, то есть тяжести полученной травмы. Для учета этого фактора вводится коэффициент тяжести несчастного случая.

Коэффициент тяжести применяется для оценки последствий одной травмы [1]:

$$K_{\text{т}} = \frac{B_{\text{д}}}{A_{\text{нс(не л/ин.)}}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{т}}$ – коэффициент тяжести; $B_{\text{д}}$ – число дней нетрудоспособности; $A_{\text{нс(не л/ин.)}}$ – число несчастных случаев, за исключением случаев с летальным исходом.

Недостатком коэффициента тяжести является то, что коэффициент тяжести не учитывает смертельные несчастные случаи и несчастные случаи, результатом которых стала инвалидность пострадавшего, как дальнейшая невозможность продолжать работу или ее ограничения. То есть, для определения коэффициента тяжести используется информация о травмах, сопровождающихся временной нетрудоспособностью.

Иногда случается, что показатель частоты $K_{\text{ч}}$ снизился, но показатель тяжести $K_{\text{т}}$ повысился или наоборот. Такие случаи приводят к необъективной оценке уровня травматизма [2]. Для объективной оценки вводится общий показатель травматизма $K_{\text{общ}}$:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{ч}} \cdot K_{\text{т}}. \quad (3)$$

Общий коэффициент имеет тот же недостаток, что и коэффициент тяжести, то есть отсутствие учета летальных и неполный учет тяжелых несчастных случаев.

Для рассмотрения смертельных и тяжелых несчастных случаев можно воспользоваться коэффициентом частоты смертельных несчастных случаев и коэффициентом частоты тяжелых несчастных случаев:

$$K_{\text{ч.лет}} = \frac{A_{\text{лет}}}{\text{Ч}} \cdot 1000 \text{ и } K_{\text{ч.инв}} = \frac{A_{\text{инв}}}{\text{Ч}} \cdot 1000, \quad (4)$$

где $A_{лет}$ – количество несчастных случаев с летальным исходом; $A_{инв}$ – количество тяжелых несчастных случаев.

При необходимости, можно определить общий коэффициент $K_{лет.инв}$ [2]:

$$K_{лет.инв} = K_{ч.лет} + K_{ч.инв}. \quad (5)$$

Все рассмотренные выше показатели травматизма не принимают во внимание причины несчастных случаев. Для исследования причин производственного травматизма в [2] выделяют удельный показатель травматизма по видам и этапам работ:

$$K_y = \frac{H}{Y}, \quad (6)$$

где H – процент травм при выполнении того или иного вида работ, %; Y – удельный состав работников на этом виде работ, %.

Также, существуют методы для оценки взаимосвязи смертельных несчастных случаев с несмертельными. Установлено, например, что одному смертельному случаю предшествует 10-30 случаев тяжелых травм, 100-300 легких травм с временной утратой трудоспособности, 1000-3000 микротравм и 10-30 тысяч так называемых опасных факторов [3]. Однако, в оценке такой взаимосвязи остается проблема того, что летальные исходы чаще всего регистрируются полнее несмертельных. С этой целью Международной организацией труда разработан метод «Об оценке достоверности статистики несчастных случаев на производстве в странах с несовершенным учетом» [4]. Согласно данному методу, вычисляется показатель S , который позволяет использовать более достоверные данные о смертельных несчастных случаях в оценке всех несчастных случаев. Показатель S определяется по формуле [5]:

$$S = \frac{A_{нс}}{A_{лет}}, \quad (7)$$

где S – количество всех несчастных случаев, приходящихся на один смертельный несчастный случай.

Таким образом, зная значение S и хорошо освещаемое значение $A_{лет}$ можно оценить общее количество несчастных случаев. Согласно [4], для объективной оценки следует использовать $S = 760$.

Существующие сегодня методы оценки производственного травматизма имеют как свои преимущества, так и недостатки. Для отрасли электроснабжения травматизм был и остается одной из важнейших проблем. Чтобы устранить часть недостатков существующих методов, например, отсутствие взаимосвязи с факторами, влияющими на травматизм, нами

предложены новые показатели травматизма для распределительных электрических сетей (РЭС).

Основной целью деятельности РЭС является отпуск электроэнергии потребителям. Увеличение отпущенной электроэнергии сопровождается ростом числа подстанций и протяженности распределительных сетей. Поскольку такое увеличение не всегда приводит к увеличению численности персонала, целесообразно оценить влияние увеличения отпуска электроэнергии на травматизм отдельно. Для этого предлагаем воспользоваться следующими коэффициентами:

$K_{чЭу}$ – коэффициент частоты учетных несчастных случаев на 1 млрд. кВт·ч, отпущенной электроэнергии:

$$K_{чЭу} = \frac{A_{нс}}{W} \cdot 10^9, \quad (8)$$

где W – объем отпущенной электроэнергии потребителям, кВт·ч.

$K_{чЭс}$ – коэффициент частоты смертельных несчастных случаев на 1 млрд. кВт·ч, отпущенной электроэнергии:

$$K_{чЭс} = \frac{A_{лет}}{W} \cdot 10^9. \quad (9)$$

Еще одним важным фактором, влияющим на травматизм в отрасли электроснабжения, является протяженность воздушных линий (ВЛ). Самым распространенным классом напряжения для ВЛ в РЭС являются сети 10 кВ и ниже, что делает их самыми протяженными из всех сетей ПАО «Россети». При этом ВЛ в РЭС часто подвергаются суровым погодным и климатическим условиям, что увеличивает их повреждаемость и как следствие приводит к возникновению травмоопасных ситуаций. Поэтому целесообразно оценить влияние увеличения протяженности ВЛ 10 кВ и ниже на травматизм в РЭС.

$K_{чПр}$ – коэффициент частоты учетных несчастных случаев на 100 тыс. км. сетей 10 кВ и ниже:

$$K_{чПр} = \frac{A_{нс(0,4-10)}}{L} \cdot 10^5, \quad (10)$$

где $A_{нс(0,4-10)}$ – число учетных несчастных случаев, произошедших в сетях 10 кВ и ниже; L – протяженность сетей 10 кВ и ниже, км.

$K_{чПр}$ следует рассматривать для каждого региона в отдельности с целью дальнейшего сравнения данных показателей каждого региона между собой.

Заключение

Предложенные нами новые показатели для оценки уровня безопасности в РЭС имеют тесную взаимосвязь с факторами, влияющими на травматизм, что

позволяет оценить влияние этих факторов и выявить направления для дальнейшего анализа. Это позволит более точно определить причины несчастных случаев в РЭС, используя более общие системные показатели. Также, предложенные факторы могут использоваться для построения прогностических моделей травматизма и для сравнительной оценки деятельности отдельных электроснабжающих предприятий регионов между собой.

Литература

1. "ГОСТ 12.0.230.3-2016. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Оценка результативности и эффективности" (введен в действие Приказом Росстандарта от 31.05.2017 N 471-ст)
2. "Пособие по охране труда главному инженеру ДРСУ (ДЭП)" (утв. Распоряжением Минтранса РФ от 29.01.2003 N ОС-36-р)
3. Булавка, Ю.А. Анализ производственного травматизма на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка; Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия Б. – Новополоцк: Полоцкий Государственный Университет, 2011. – с. 130-138.
4. Hämmäläinen P. Global estimates of occupational accidents / P. Hämmäläinen, J. Takala, K. Saarela – Safety Science, vol. 44, 2006; p.137-156.
5. Смурова, Т.А. Расчет уровня производственного травматизма на основе методики Международной Организации Труда / Т.А. Смурова, С.А. Фаустов, И.А. Сабурова; Неделя науки СПбПУ: сб. мат. междунар. науч. конф. / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого – Л., 2020. – с. 130-133.

Сведения об авторах:

Агеев П.А. – аспирант 3-го курса, группы П-3020 кафедры «БЖД», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Научный руководитель: **Сидоров А.И.** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «БЖД», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

*Бобоев Х.Д., Рахимов М.К., Гулов Д.Ю., Курбонова Н.Дж.
ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
Институт Энергетики Таджикистана, г. Бохтар, РТ
Инженерно-педагогический колледж, г. Душанбе, РТ
E-mail: khboboev-93@mail.ru, gdy_02@mail.ru*

***Аннотация:** В статье рассматривается разработанная авторами компьютерная модель для исследования способа определения параметров изоляции фаз сети относительно земли, построенная в программной среде Matlab/Simulink. Приведены результаты исследований влияния различных факторов на точность измерений активной и реактивной составляющих полного сопротивления изоляции фаз сети относительно земли указанным способом.*

***Ключевые слова:** электрические сети, компьютерное моделирование, параметры изоляции фаз сети относительно земли, дополнительная емкость.*

DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODEL OF ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK

***Annotation:** The article discusses a computer model developed by the authors to study a method for determining the isolation parameters of network phases relative to the ground, built in the Matlab/Simulink software environment. The results of studies of the influence of various factors on the accuracy of measuring the active and reactive components of the insulation impedance of the network phases relative to the ground using the specified method are presented.*

***Keywords:** electrical networks, computer modeling, isolation parameters of network phases relative to ground, additional capacity.*

Надежность работы и безопасность распределительных электрических сетей (РЭС) напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью во многом зависят от сопротивления изоляции фаз сети относительно земли [1-3].

На практике определение параметров РЭС относительно земли осуществляется либо прямым, либо косвенным методами. Прямой метод прост, позволяет найти ток однофазного замыкания и его составляющие. Однако его применение сопряжено с рядом трудностей организационного порядка, при этом замыкание одной из фаз на землю может стать причиной появления в сети многоместных замыканий на землю. Последнее приводит к снижению

надежности электроснабжения и ухудшению условий электробезопасности для персонала.

Учитывая изложенное, предпочтение необходимо отдать косвенным методам определения параметров изоляции. Анализ существующих методов показал, что, наиболее удобным и безопасным из них является метод, основанный на подключении дополнительной емкости ΔC между одной из фаз сети и землей [1, 3, 4].

Выполнение исследований в реальной РЭС вызывает, как правило, определенные трудности, связанные с проведением организационных и технических мероприятий, обеспечивающих электробезопасность и для исследователей, и для остальных работников, занятых в это время на тех или иных работах. Для получения результатов, характеризующих те или иные процессы в РЭС, целесообразно использовать имитационную модель этой сети. Модель была создана с помощью MatLab/Simulink (Рис.1).

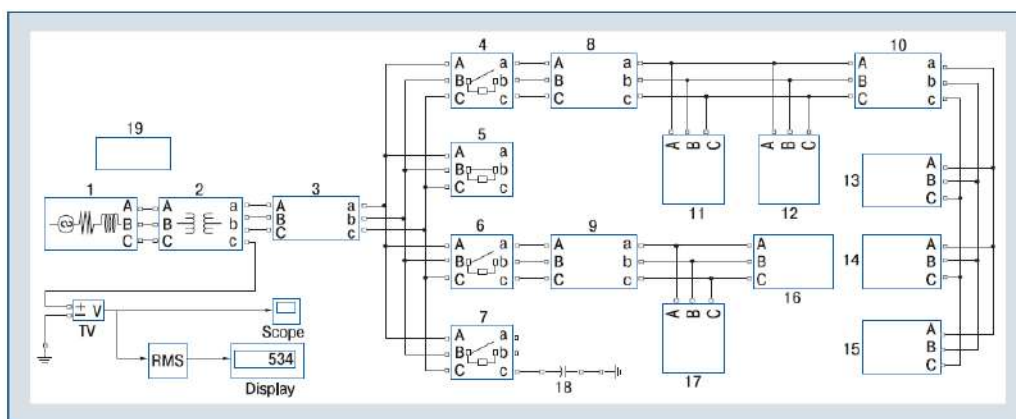


Рис.1. Общий вид компьютерной модели распределительной

На рис. 1 (здесь 1 – трехфазный источник напряжением 35 кВ; 2 – блоки, моделирующие трехфазные трансформаторные подстанции; 3 – блоки измерительные приборы; 4–7 – выключатели; 8–17 – блоки, моделирующие воздушные и кабельные линии с экскаваторами и буровыми станками; 18 – дополнительные емкостные проводимости, 19 – Блок «PowerGUI»; А, В, С – обозначение фаз на входе блока; а, b, с – обозначение фаз на выходе блока) представлена имитационная модель распределительной электрической сети, коммутационных аппаратов и измерительных комплектов изображены в виде блоков. Это одно из преимуществ использования программной среды MATLAB Simulink, поскольку подобные блоки позволяют разрабатывать компактные и функциональные модели электротехнических устройств при их отсутствии в стандартной библиотеке блоков SimPowerSystems. Блок PowerGUI – графический интерфейс пользователя. Он служит для задания начальных

условий, создания файла характеристик намагничивания для модели трансформатора с учётом насыщения сердечника, определения импеданса цепи, вычисления параметров линии электропередачи, дискретизации модели, анализа схемы с помощью инструмента Simulink LTI-Viewer, выполнения гармонического анализа.

Известно, что полученные результаты зависят от того, насколько корректно построена модель, правильно ли применены готовые блоки и определены их параметры.

Подробнее рассмотрим основные элементы разработанной модели сети. Энергосистема напряжением 35 кВ моделируется с помощью стандартного блока 1 из библиотеки SimPowerSystems (рис. 1). Трансформатор смоделирован посредством стандартного блока 2. Блоки 8–17 моделируют воздушные и кабельные линии напряжением 6 кВ с нагрузками. На рис. 2 представлена схема одной из линий с нагрузкой (здесь 1–3 – фазы соответственно А, В, С; 4 – блок сопротивлений, учитывающих параметры кабельных и воздушных линий; 5–7 – ветви для интерпретации сопротивления изоляции фаз сети относительно земли; 8 – эквивалентная статическая нагрузка узлов сети).

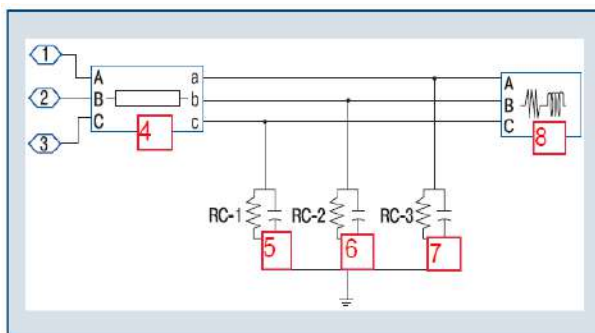


Рис. 2. Внутренняя схема воздушной и кабельной линий

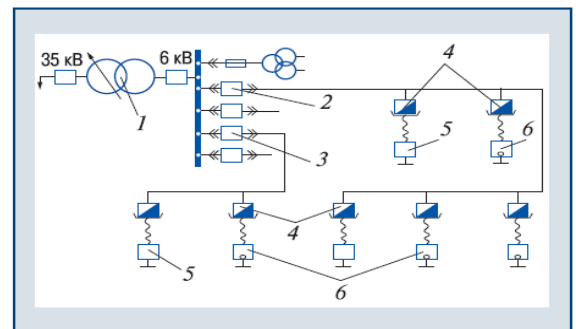


Рис. 3. Электрическая схема РЭС напряжением 6 кВ

Блок 3 (рис. 1.) – набор измерительных приборов для определения значений режимных параметров сети, в первую очередь – токов и напряжений в фазах. Выключатели, установленные на главной понижающей подстанции, смоделированы при помощи стандартных блоков 4–7, а дополнительные ёмкости – блоком 18, подключенным к резервной ячейке. Напряжение смещения нейтрали после подключения дополнительной ёмкости в блоке 3 (рис. 1) не измеряется, поэтому оно определяется через блок TV, подключенный к нейтрали трансформатора.

В модели также использованы блоки Scope (виртуальный осциллограф), отображающий графические зависимости исследуемых величин в функции времени в форме, напоминающей осциллограммы современного цифрового

осциллографа, Display (предназначен для представления числовых значений измеряемых величин на экране) и RMS (служит для измерения действующего значения сигнала, поступающего на вход). Проверка адекватности компьютерной модели проводилась по реальной распределительной сети, схема которой приведена на рис. 3.

Карьерная трансформаторная подстанция (Рис. 3) имеет две секции шин напряжением 6 кВ, получающих питание от силового трансформатора 1 (тип ТМН-2500/35/6) через вводные ячейки. Основные потребители в карьере – три экскаватора 5 (тип ЭКГ) и четыре буровых станка 6 (тип SWDA-165А), которые подключаются к воздушным линиям через приключательные пункты 2, 3 (ПП-6) и 4 (ЯКНО-6) кабелями типа КГ 3×35×1×10/0,5 длиной 100 м. Протяжённость воздушных линий составляет 700, 650 и 400 м.

Адекватность имитационной модели проверена по силе тока однофазного замыкания на землю. Результаты, полученные на имитационной модели и при аналитическом расчёте, имеют небольшое расхождение, что позволяет считать имитационную модель адекватной.

С помощью этой модели проведена оценка влияния характера и величины нагрузки на точность измерения сопротивления изоляции фаз сети R_{ϕ} и ёмкости сети относительно земли C_{ϕ} способом, основанном на подключении дополнительной ёмкости ΔC . Результаты оценки приведены на рис. 4 и 5.

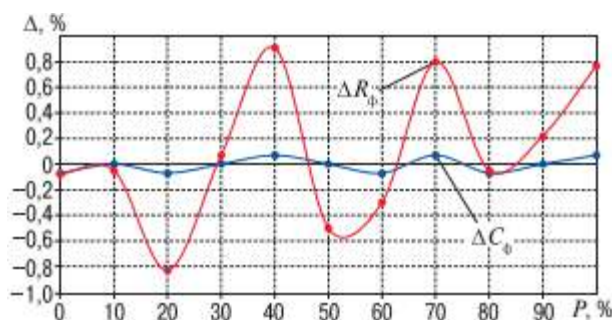


Рис.4. Зависимость ΔR_{ϕ} и ΔC_{ϕ} при изменении активной нагрузки от 0 до 100%

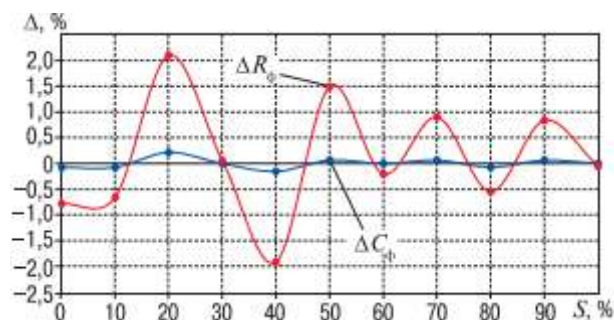


Рис. 5. Зависимость ΔR_{ϕ} и ΔC_{ϕ} при изменении полной нагрузки от 0 до 100%

Выводы

Таким образом, всесторонний анализ исследования [1, 3, 5] косвенного метода определения параметров РЭС относительно земли, основанного на подключении к одной из фаз дополнительной ёмкости, показал его преимущества и целесообразность использования подразделениями, эксплуатирующими указанные сети. Кроме того, исследование на

компьютерной модели занимают относительно малое время, обеспечивают точное измерение и безопасны для людей.

Литература

1. Сидоров А. И. Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах: Дис. ... докт. техн. наук. – Челябинск, 1993. – 444 с.
2. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л.В. Гладилин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацежев, Н.И. Чеботаев. – М., Недра, 1977. – 327 с.
3. Бобоев, Х.Д. Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан: специальность 05.26.01 «Охрана труда (электроэнергетика)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бобоев Хуршедшох Давлаталиевич. – Челябинск, 2021. – 175 с.
4. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.М. Маврицын, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин. – М.: Недра, 1983. – 192с.
5. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин, Н.А. Бендяк. – М.: Недра, 1996. – 266 с.

Сведения об авторах:

Бобоев Х.Д. – к.т.н., ассистент кафедры «РЗ и АЭ», ТГУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе.

Рахимов М.К. – магистрант 2-го курса, группы 1-530104-03 Б кафедры «РЗиАЭ», ТГУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе.

Гулов Д.Ю. – к.т.н., старший преподаватель, заведующий кафедрой «РЗ и А», Института энергетики Таджикистана, р. Кушониён.

Курбонова Н.Дж. – старший преподаватель кафедры «Э и АТ», Инженерно-педагогического колледжа, г. Душанбе.

ГРАНУЛЯТ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД КАК АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

Гоголь Э.В., Токмаков Р.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ), г. Казань, Россия

E-mail: EVGogol@kai.ru

Аннотация. В данной статье представлена возможность использования илового осадка городских очистных сооружений в качестве альтернативного гранулированного биотоплива после обезвоживания и обеззараживания на линии термомеханической обработки

Ключевые слова: иловый осадок сточных вод, гранулят, обезвоживание, термомеханическая обработка илового осадка

SEWAGE SLUDGE GRANULATE AS AN ALTERNATIVE FUEL

Abstract. This article presents the possibility of using sludge sludge from municipal wastewater treatment plants as an alternative granular biofuel after dewatering and disinfection on a thermomechanical treatment line

Key words: sewage sludge, granulate, dewatering, thermomechanical treatment of sludge

При очистке сточных вод любых видов промышленности всегда возникает вопрос образования вторичных безвозвратных потерь в виде отходов водоочистки. Вопросы их обезвреживания, утилизации и переработки, то есть перевод безвозвратных потерь в полупродукцию или вторичное сырье в настоящее время приобрели особую значимость как с точки зрения обеспечения жизненных циклов сырья, веществ материалов и изделий в соответствие с концепцией устойчивого развития и циркулярной экономики [1].

В общей проблеме утилизации вторичного использования ресурсов отходов водоочистки особую актуальность имеет вопрос утилизации осадков станций биологической очистки городских сточных вод или избыточного активного ила [2]. Так, на очистных сооружениях водоканала города с населением около 1 млн. человек обрабатывается приблизительно 500 тыс.куб.м/сут сточных вод с образованием активного ила [3]. Активный ил – это амфотерная коллоидная система с рН 4,9, с 70-75% по массе органической части, влажность которой составляет 96-99%. Именно способность удерживать влагу является характерной особенностью активного ила, при этом даже при длительном хранении на иловых полях его объем из-за связанной влаги

остаётся практически неизменным. До 40% стоимости всех затрат на водоочистку приходится на утилизацию иловых осадков [4].

В исходном виде избыточный активный ил вне зависимости от его химического или бактериального состава представляет собой потенциально опасный источник загрязнения окружающей среды. Поскольку процессы очистки воды идут непрерывно и в значительных объемах, то выделяемые из воды осадки постоянно накапливаются на полях фильтрации, полях орошения и иловых картах [5]. Из литературных данных известна возможность сжигания осадков сточных вод, в том числе избыточного активного ила после его обезвоживания, уплотнения или сушки [6, 7]. Наличие органического вещества в сухом веществе осадка даёт возможность рассматривать его как потенциальное биотопливо (таблица 1).

Таблица 1 – Элементный состав и зольность твердых углеродсодержащих материалов

Наименование горючего материала	Состав органической массы, % масс.			
	C	H	N	S
Древесина	50-52	6-6,5	0,1	0,1
Торф	54-63	6-6,5	0,5-0,6	0,1-3
Каменный уголь	25-90	4-6	0,6-2,8	0,5-5
Осадок очистных сооружений городского водоканала	62	8	5	1

Одним из направлений устойчивого развития является создание энергетики, использующей альтернативные виды топлива, одним из таких видов топлива могут стать гранулы из высушенного осадка сточных вод. Высушивание и обезвоживание активного ила (осадка городских очистных сооружений) решает проблему его размещения в окружающей среде с последующим загрязнением его компонентами почв и водных ресурсов.

После гранулирования в сушильных агрегатах осадок можно использовать в качестве альтернативного топлива, исходя из его теплотворной способности (4500...5000 кДж/кг). Подобный подход реализован на очистных сооружениях в г. Казань.

На МУП «Водоканал» в г. Казань была установлена линия термомеханической обработки илового осадка (рис. 1, 2). Из 450 тысяч куб.м. канализационных вод, которые ежедневно образуются в г. Казань и поступают на очистные сооружения городского водоканала на линии производится около 70 тонн биотоплива в гранулах (700 кг гранулята – это канализационные отходы 60 многоквартирных домов, рассчитанных на 15 тыс. человек) [8].



Рис. 1. Линия термомеханической обработки илового осадка



Рис. 2. Сушильный барабан линии термомеханической обработки илового осадка

Гранулы уже используются на цементных заводах в качестве альтернативного топлива, чтобы снизить потребление газа (производство цемента требует поддержания температур 1450-1480 °С в течение 2-4 часов, с чем прекрасно справляются гранулы биотоплива

Иловый осадок, поступающий со всего города на биологические очистные сооружения, сначала обезвоживается, затем высушивается в сушильном барабане при 500 °С, что обеспечивает полное обеззараживание осадка. Остаточная влажность гранулята составляет 10%. Хранение гранул осуществляется в силосном бункере.

Далее гранулы размером от 3 до 8 мм поступают на промежуточное хранение в силосный бункер.



Рис. 3. Внешний вид обезвоженного высушенного гранулированного илового осадка (размер гранул 3-8 мм).

Заключение

Ранее существовавшие технологии очистки городских канализационных стоков требовали создания иловых карт. Так, для города с миллионным населением, таким, как Казань, на иловые поля администрацией города было выделено 100 га земель, способных принять 250 т/сут илового осадка, получаемого при очистка 450 куб.м/сут канализационных стоков. При внедрении на городском водоканале линии по термомеханической обработке и гранулированию илового осадка стало возможным производить альтернативное биотопливо в количествах 70-100 т/сут.

Литература

1. Пахомова, Н. В. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. / Зеленая экономика и экологический менеджмент. – 2017 – № 2 – С. 244–268.

2. Калимуллина, Д.Д., Багаутдинов, И.З. Утилизация осадков городских сточных вод // Межд.науч.журнал «Инновационная наука». – 2016 – №5 – С. **215-216**.

3. Грудинин В.П. Способы утилизации активного ила промышленных и городских очистных сооружений // Оптимизация обращения с отходами производства и потребления. Ярославль, 2000.

4. Белов С.В., Барбинов Ф.А., Козьяков А.Ф. и др. Охрана окружающей среды. М.: Высшая школа, 1983.
5. Евилевич А.З. Осадки сточных вод. Л.: Стройиздат, 1965.
6. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006.
7. Микула В.А., Левин Е.И., Берг Б.В. Направленная циркуляция в кипящем слое как средство совершенствования процесса сжигания осадков очистных сооружений // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Благовещенск, 2005. С. 484-489.
8. Казань завершила канализационную революцию: ил «Водоканала» стал топливом для цементных заводов России // <https://www.business-gazeta.ru/article/559757> // 10.08.2022

Сведения об авторах

Гоголь Элина Владимировна – доцент кафедры общей химии и экологии ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ, кандидат химических наук, AgroChemistry Dr.

Токмаков Роман Александрович – магистр 1 года обучения ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ, группа 3193, направление Техносферная безопасность, магистерская программа Управление техносферной безопасностью и экологическая экспертиза

СПОСОБ РАСЧЕТА УЩЕРБА МОНОПОТРЕБИТЕЛЯ ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВСЛЕДСТВИЕ НАРУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Горшунув А.А.

НГТУ, г. Новосибирск, Россия

E-mail: gorshunovandrej@yandex.ru

Научный руководитель: д.т.н., профессор Секретарев Ю.А.

***Аннотация:** в данном исследовании анализируется способ расчета потерь, понесенных предприятиями нефтедобычи из-за недостатка поставок электроэнергии. Существенная часть убытков, связанных с нарушением электроснабжения в объектах нефтедобычи, обусловлена технологическими утратами нефти в результате простоя добывающего оборудования.*

***Ключевые слова:** система электроснабжения, ущерб, монопотребитель.*

METHOD FOR CALCULATING DAMAGE TO A SINGLE CONSUMER FROM UNDERSUPPLY OF ELECTRICITY DUE TO POWER SUPPLY FAILURE

***Annotation:** This study analyzes the method of calculating losses incurred by oil production enterprises due to a lack of electricity supplies. A significant part of the losses associated with the disruption of power supply in oil production facilities is due to technological losses of oil as a result of downtime of mining equipment.*

***Keywords:** power supply system, damage, monoconsumer*

Для эффективного управления ремонтами энергооборудования на промышленных предприятиях рекомендуется применять риск-ориентированный подход (РОП). Этот метод позволяет оптимально распределять ресурсы, сосредотачивая внимание на направлениях с наибольшими рисками во время эксплуатации оборудования. В данном контексте риски представляют собой математическое ожидание ущерба, который может возникнуть в случае недостатка поставок электроэнергии. Риск-ориентированный подход позволяет выявлять критические точки в функционировании энергетической системы, обеспечивая более точное и эффективное управление процессами обслуживания и ремонта.

Монопотребитель относится к промышленному потребителю электроэнергии, который производит единственный вид продукции с определенной ценностью. Система электроснабжения таких потребителей, таких как нефте- и газодобывающие предприятия, полностью интегрирована в технологический процесс и представляет собой единое целое. Любое нарушение электроснабжения монопотребителя приводит к временному

прекращению выпуска единственного вида продукции, объем которой зависит от времени восстановления (ремонта) оборудования.

Во время ремонтного периода скважина не функционирует. Для оценки времени эксплуатации действующих добывающих скважин применяется количественный показатель – коэффициент эксплуатации скважин (1):

$$K_{\text{э}} = \frac{T_{\text{экс.с}}}{T_{\text{экс.ф}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{экс.с}}$ – фактическое время эксплуатации скважин, ч;

$T_{\text{экс.ф}}$ – время эксплуатации фонда скважин, ч.

В практике работы скважин коэффициент эксплуатации для всего фонда никогда не достигает единицы и в среднем на предприятиях принимает значения от 0,94 до 0,98. Данный показатель может быть рассчитан отдельно для каждой скважины, при этом в одном или нескольких месяцах показатель может быть равен единице.

Применяя коэффициент эксплуатации рассчитывается продолжительность рабочего времени за год для отдельной скважины (2):

$$T_p = \sum_{i=1}^n K_{\text{э}i} \times t_i, \quad (2)$$

где n – рассматриваемый период времени, месяц;

$K_{\text{э}i}$ – коэффициент эксплуатации скважины в i – ый месяц;

t_i – число часов (или дней) в i – ом месяце.

Применяя выражение (2) в среднем можно рассчитать число часов простоя (ремонтных работ) скважин по выражению (3):

$$T_{\text{е}} = 8760 - \sum_{i=1}^n K_{\text{э}i} \times t_i, \quad (3)$$

Приняв значение коэффициента эксплуатации скважины равное 0,96 и используя выражение (3) рассчитывается среднее время простоя (восстановления) скважины на годовом интервале:

$$T_{\text{е}} = 8760 - 0,96 \times 8760 = 350,4 \text{ ч.}$$

Математическое ожидание ущерба от недоотпуска электроэнергии на годовом интервале времени в общем случае следует рассчитывать с помощью предложенного авторами [1] выражения (4):

$$M(Y) = \bar{P}_{\text{нагр}} \times T_{\text{е}} \times \bar{D}_{\text{скв}} \times Q \times c, \quad (4)$$

где $\bar{P}_{\text{нагр}}$ – осредненное на годовом интервале значение активной мощности потребителя, кВт;

T_6 – время восстановления добычи, ч;

$\overline{D}_{скв}$ – осредненное на годовом интервале значение производительности скважины, тонна/кВт×ч;

Q – вероятность нарушения электроснабжения рассматриваемого потребителя;

c – удельная стоимость потерь добычи нефти, рубль/тонна.

Вероятность отказа рассчитывается по формуле 5, предложенной авторами [1].

$$Q = 1 - e^{-\omega T} \times J, \quad (5)$$

Расчеты ущерба от недоотпуска электроэнергии

Особое внимание следует уделить анализу показателя производительности скважины D . Под термином "производительность" понимается общий объем жидкости, выделяемой скважиной за сутки. Эта жидкость включает в себя как воду, так и нефть, и степень обводненности выражается в коэффициенте обводненности. К сожалению, согласно данным автора [2], на 2020 год в основных месторождениях России среднее значение обводненности составляет не менее 85%, приближаясь к массовому соотношению добытой нефти и попутной воды в пределах 1:7. В качестве примера расчета ущерба от недоотпуска электроэнергии приводится куст скважин №204 ТПП «Когалымнефтегаз», описанный авторами [3]. Мощность приводов каждой скважины приводится в таб. 1.

Таб. 1 – Подключение оборудования к КТП

Номер скважины	Тип насоса	Мощность привода, кВт	Подключение
1	ЭЦН	32	T1
2	ЭЦН	32	T1
3	ЭЦН	63	T1
4	ЭЦН	63	T1
5	ЭЦН	63	T1
6	ЭЦН	63	T1
7	ЭЦН	63	T1
8	ЭЦН	45	T1
9	ЭЦН	45	T1
10	ЭЦН	45	T2
11	ЭЦН	45	T2
12	ЭЦН	45	T2
13	ШГНУ	15	T2
14	ШГНУ	15	T2
Сумма		649	

Если рассматривается отдельная скважина, например №1 из приведенного в таблице 1 перечня, то расчет ущерба производится с помощью выражения 4, считая что скважина низкодебитовая имеет производительность 36 м³/сут и обладает обводненностью 85%, цены приняты на август 2023. Оценка удельной стоимости потерь может быть проведена с использованием данных из отчетов компании, объекты которой могут быть рассмотрены как монопотребители.

Осредненная производительность скважины №1 составила:

$$\bar{D}_{скв} = 0,0061 \text{ т/кВт}\times\text{ч.}$$

Удельная стоимость потерь добычи нефти скважины №1 составила:

$$c = 51108 \text{ руб/т.}$$

Математическое ожидание ущерба в данном случае составит:

$$M(Y) = 32 \times 350,4 \times 0,0061 \times 0,84 \times 51108 = 2,935 \text{ млн.руб.}$$

Если рассмотреть весь куст при значении вероятности нарушения его электроснабжения равном 0,04 [4], то величина ущерба составит 1678 млн.руб.

Заключение

Для более полной и достоверной оценки ущербов требуется информация о регулярном мониторинге состояния техническим систем монопотребителей. Наиболее тяжелый ущерб возникает при нарушении электроснабжения всего куста скважин из-за потери большего дебита нефти несмотря на более короткие сроки восстановления питания.

Литература

1. Секретарев Ю.А., Левин В.М. Выбор и принятия решений по управлению ремонтами энергооборудования в системах электроснабжения с монопотребителем // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2021. №2 (83). С. 17-25.
2. Щербакова К.О. Анализ проблемы высокой обводненности добываемой продукции горизонтальных скважин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2022. – №6. – С. 29-38.
3. Байков И.Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 275с.
4. Секретарев Ю. А., Горшунов А. А., Меняйкин Д. А. Моделирование технического состояния оборудования систем электроснабжения монопотребителей с учетом схемной надежности // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2022. № 3 (69). С. 3–14.

Сведения об авторах:

Горшунов А.А. – аспирант 2-го года обучения, кафедра «СЭСП», факультет энергетики, НГТУ, г. Новосибирск, Россия.

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ – НЕОБХОДИМОСТЬ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Арабов Ф.Д., Давлатмамадов Н.Г., Ёров Х.М.
Научный руководитель к.т.н. доцент Киргизов А.К.
ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
E-mail: Nekruz@mail.ru

***Аннотация:** Мы формулируем причину, по которой оценка динамического состояния необходима для расширения границ модального анализа электрических сетей в режиме реального времени. Затем мы демонстрируем, как распознать линейные и нелинейные режимы, используя расширенное динамическое разложение мод, а также оценки углов ротора синхронных генераторов и отклонений скорости ротора от номинальной скорости. Рассчитанные режимы связаны с электромеханическими колебаниями, которые постоянно происходят в электросетях из-за дисбаланса между выработкой и спросом электроэнергии.*

***Ключевые слова:** оценка динамического состояния, расширенная динамическая модальная декомпозиция, оператор Купмана, модальный анализ.*

MODAL ANALYSIS OF POWER NETWORKS IN REAL TIME - THE NEED TO ASSESS THE DYNAMIC STATE

***Abstract:** We articulate the reason why dynamic state estimation is necessary to push the boundaries of real-time modal analysis of electrical networks. We then demonstrate how to recognize linear and nonlinear modes using advanced dynamic mode decomposition, as well as estimates of rotor angles of synchronous generators and rotor speed deviations from rated speed. The calculated modes are associated with electromechanical oscillations that constantly occur in power grids due to an imbalance between electricity generation and demand.*

***Key words:** dynamic state estimation, extended dynamic modal decomposition, Koopman operator, modal analysis.*

Модальный анализ электроэнергетических сетей на основе системных моделей является подходящим подходом для планирования исследований [1] и наоборот, методы, основанные на данных, предпочтительнее для работы в реальном времени [2], [3]. Методы модального анализа, основанные на данных, классифицируются по типу данных — окружающие [4], зондирующие [5] или кольцевые [6]. Основное предположение для данных об окружающей среде заключается в том, что система находится в квазистационарном состоянии,

слегка возмущенном случайными изменениями энергопотребления. Исследование данных основано на интрузивном подходе, то есть сигналы вводятся в сеть, чтобы помочь выявить скрытую информацию. Текущая практика работы в режиме реального времени заключается в использовании либо внешних, либо зондирующих сигналов для мониторинга режимов системы. Превентивный контроль важен при работе в режиме реального времени; однако наш интерес заключается в разработке схем модального управления, которые будут автоматически управлять системой после возникновения непредвиденной неисправности.

Наше исследование мотивировано тем фактом, что синхрофазные измерения угла напряжения (или частоты) на шине использовались в качестве показателя угла (или скорости) ротора синхронных генераторов [9]; это делается потому, что измерения синхронных данных об угле и скорости ротора генераторов отсутствуют [10]. Однако использование измерений синхрофазора в качестве показателя переменных динамического состояния может привести к плохой оценке режимов системы. Одна из причин этого заключается в разрывах, вызванных, например, переключением или коротким замыканием, которые возникают в величинах, измеряемых векторными измерительными блоками (PMU). Эти величины представлены алгебраическими переменными в наборе дифференциально-алгебраических уравнений, моделирующих энергосистему, при этом непрерывные дифференциальные уравнения диктуют фактические динамические состояния системы.

В данной статье эта проблема решается путем использования измерений синхрофазора вместе с моделями синхронных генераторов для оценки переменных динамического состояния. Таким образом, идеальным является модальный анализ в реальном времени, который может использовать оценки состояния угла (или скорости) ротора, а не анализ, который использует прямые измерения угла (или частоты) напряжения на шине.

Предварительные представления

Рассмотрим нелинейную динамическую систему $\dot{x}(t) = f(x(t))$ где $\dot{x}(t) \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния, а $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ — гладкое векторное поле, удовлетворяющее $f(0) = 0$. Мы можем формально построить разложение Тейлора f около 0:

$$\dot{x} = A_x + X_2 + \dots + X_k + \theta(|x|^{k+1}) \quad (1)$$

где $X_p \in H^p$ — вещественное векторное пространство векторных полей, компонентами которого являются однородные многочлены степени p . Если пренебречь нелинейными членами второго и более высокого порядка в (1), то

предположим теперь, что матрица A имеет n различных собственных значений $(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$. Пусть r_i — i -й правый собственный вектор матрицы A . Обозначим l_i — i -й левый (строковый) собственный вектор матрицы A . Решение (2) задается суммой модальных компонентов или линейных модулей:

$$x = \sum_{i=1}^n e^{\lambda_i t} c_i$$

где c_i — постоянные векторы, определяемые вектором начального состояния $x(0) = x_0$ и собственными векторами r_i и l_i . Определение 1. i -я линейный модуль определяется выражением:

$$e^{\lambda_i t} (l_i x_0) r_i$$

Определение нелинейных режимов, принятое в электроэнергетических сетях, основано на нормальных формах векторных полей [17]. Если пренебречь членами третьего и более высокого порядка в (1), то:

$$\dot{x} = A x + X_2. \quad (4)$$

В [18] было показано, что решение (4) имеет вид:

$$x = \sum_{i=1}^n e^{\lambda_i t} c_i + \sum_{i=1}^n r_i \left[\sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^n e^{(\lambda_j + \lambda_k) t} d_i \right] \quad (5)$$

где, d_i — векторы, полученные из x_0, r, l и последовательности преобразований координат, выполняемых в процессе приведя (4) к нормальной форме. См. [19] и ссылки там подробнее. Крайняя правая сумма модальных составляющих в (5) определяет нелинейные режимы второго порядка. В последнее время третьего порядка рассматривались также нелинейные моды [20].

Определение 2. Коэффициент затухания ξ , i -й линейной моды определяется как:

$$\xi_i = -\frac{\Re(\lambda_i)}{|\lambda_i|} = -\frac{\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (6)$$

В устойчивой системе коэффициент затухания любого нелинейная модуля второго порядка больше или равна наименьший коэффициент демпфирования среди всех линейных модулей режимов. подразумевает, что если коэффициент затухания всех нелинейных мод второго и третьего порядка, используемых для реализации режимов прогнозирующего механизма, является

адекватным, то есть он больше заданного порога, то таким же является и коэффициент затухания нелинейные режимы.

Доказательство. Этот результат легко проверить геометрически; видеть

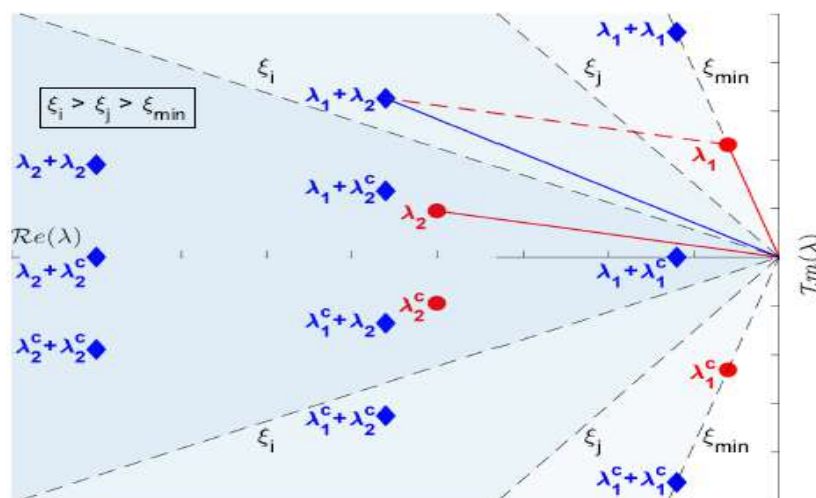


Рис.1. Геометрическое изменение модулей

Следовательно, может быть достаточно полагаться исключительно на линейные режимы, если цель состоит в том, чтобы обеспечить достаточное затухание электромеханических колебаний. Коэффициент демпфирования обеспечивает определенную меру запаса устойчивости и информативен для профилактических управляющих воздействий. Однако если возмущение уводит систему далеко от точки равновесия, то необходимо спрогнозировать траекторию, прежде чем предпринимать автоматические управляющие действия, чтобы направить систему в безопасную рабочую область. В этом случае линейные моды дают лишь неполную картину, и поэтому нелинейные режимы необходимы. Это легко понять, сравнивая (3) и (5), и это послужил мотивом недавних исследований; см., например, [21], [22]. Пример 1 используется для дальнейшей демонстрации этого факта о важности нелинейные режимы.

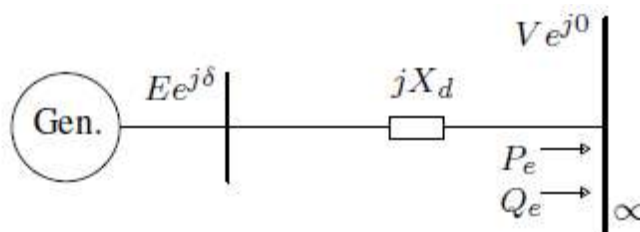


Рис. 2. Одно машинная система с бесконечной шиной

Система на рис. 2 математически представлена следующим образом:

$$\dot{\delta}_i = \omega_i$$

$$M = \dot{\omega}_l = \frac{EV}{X_d} \sin(\delta - \delta_{sep}) \quad (5)$$

где $P_e = 100$ МВА, $Q_e = 50$ МВА, $S_{base} = 100$ МВА, $f_{base} = 60$ Гц, $V = 1,05$ на единицу, $M = 5/60\pi$ секунд и $X_d = 1,2$ на единицу. Заметим, что точка устойчивого равновесия сдвинута к началу координат и $\delta_{sep} = 0,545$ радиан. Эта система имеет пару комплексно-сопряженных собственных значений: $\lambda_{1,2} = \pm j7,4801$.

Теперь предположим, что $x_0 = (1,5, 1,5)$. Из рис. 3 видно, что прогноз траектории состояния с использованием исключительно линейных режимов неудовлетворителен, а включение нелинейных режимов улучшает прогнозирование. Таким образом, модальный анализ, обсуждаемый в остальной части этой статьи, будет включать как линейные, так и нелинейные режимы.

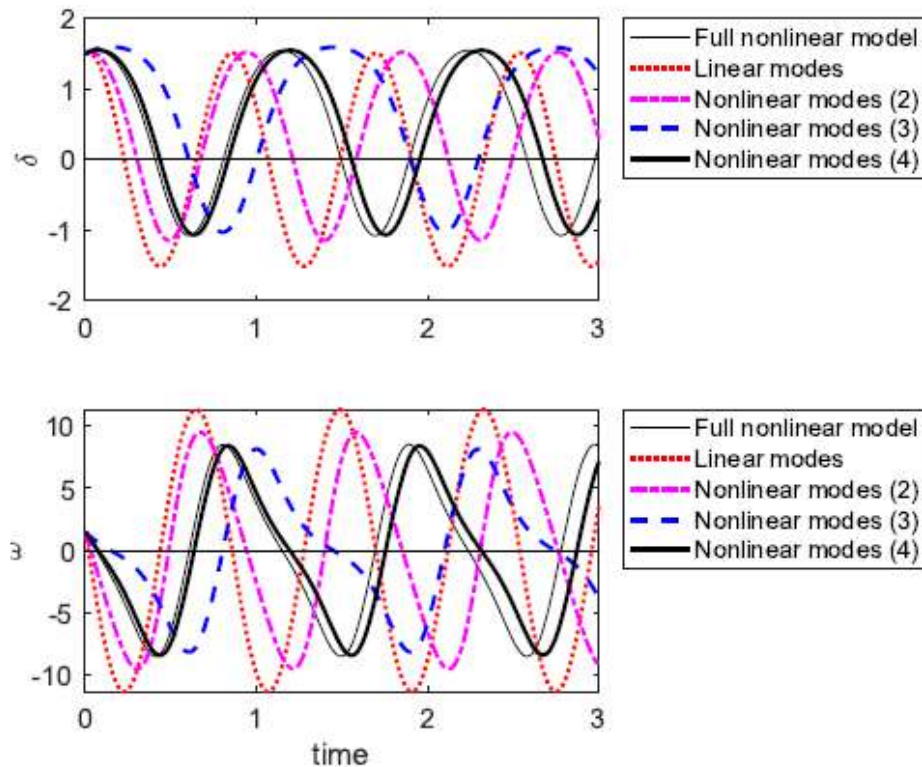


Рис. 3. Траектория состояния, начинающаяся в точке $x_0 = (1,5, 1,5)$. В легенде «Нелинейные режимы (2)» указывают на то, что для выполнения прогнозирования используются линейные режимы и нелинейные режимы второго порядка.

Выводы

Мы продемонстрировали это с помощью моделирования и подробно остановились на причинах, по которым DSE необходим для модального анализа

в реальном времени. Наше моделирование согласуется с существующей литературой (в частности, по обработке сигналов) относительно того, почему измерения PMU (необработанные данные датчика данные) может оказаться неподходящим вариантом для оценки стабильности в реальном времени энергосистемы. Возможность идентифицировать колебания энергосистемы и связанную с ней динамическую стабильность в реальном времени будет желательной в будущих сценариях с более высокой долей силовой электроники, подключенной к сетям с переменными возобновляемыми генерациями.

Литература

1. G. Rogers, “Modal analysis of power systems,” *Power System Oscillations*. Springer, 2000, ch. 3, pp. 31–73.
2. M. Netto and L. Mili, “A robust Prony method for power system electromechanical modes identification,” *IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, July 2017, pp. 1–5.
3. M. Netto and L. Mili, “Robust data filtering for estimating electromechanical modes of oscillation via the multichannel Prony method,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 4, pp. 4134–4143, July 2018.
4. L. Dosiek, N. Zhou, J. W. Pierre, Z. Huang, and D. J. Trudnowski, “Mode shape estimation algorithms under ambient conditions: A comparative review,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 779–787, May 2013.
5. N. Zhou, J. W. Pierre, and J. F. Hauer, “Initial results in power system identification from injected probing signals using a subspace method,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 1296–1302, Aug 2006.

Сведения об авторах:

Арабов Ф.Д -докторант PhD кафедры «Электрические станции». Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. г. Душанбе. Таджикистан.

Давлатмамадов Н. Г. – магистрант 1-ого курса группы 430101 Б. Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.

Ёров Х.М.– магистрант 1-ого курса группы 430101 Б. Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНТУРОВ ЗАЗЕМЛЕНИЙ ПОСТОВ ЭЦ НА ЗАБЖД С УЧЁТОМ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Данилова А.Ю.

Востриков М.В., научный руководитель

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал
федерального государственного образовательного учреждения высшего
образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИрГУПС), г. Чита, Россия*

E-mail: aspirin1979@mail.ru

Аннотация: *Одной из важных проблем Забайкальской железной дороги является превышение нормируемых значений сопротивления заземляющих устройств (ЗУ) службы автоматики и телемеханики, это связано с географическим положением Забайкальского края и Амурской области. На этих территориях преобладают почвы с вечной мерзлотой и болотистая местность.*

В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся нормальной работы напольных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, расположенных в границах Забайкальской железной дороги в части организации заземления. Рассмотрены вопросы организации и эксплуатации контуров заземления постов электрической централизации (ЭЦ) с учетом специфики почвогрунтовых слоев Забайкальского края и Амурской области.

Предложены организационные и технические мероприятия по приведению сопротивления заземлений к нормируемым значениям. Одним из технических мероприятий является использование вилки Авраменко, подключенной параллельно контуру заземления, что позволяет снизить величину сопротивления контура заземления поста ЭЦ.

Ключевые слова: *заземление, пост ЭЦ, трансформаторная подстанция, сопротивление, почва, многоугольник.*

FEATURES OF OPERATION OF GROUNDING CIRCUITS OF EC POSTS AT BAYKAL RAILWAY TAKEN INTO ACCOUNT OF ADVANCED TECHNOLOGIES

Annotation: *One of the important problems of the Trans-Baikal Railway is the excess of the normalized resistance values of grounding devices of the automation and telemechanics facilities, this is due to the geographical location of the Trans-Baikal Territory and the Amur Region. Permafrost soils and swampy terrain predominate in these territories.*

This article discusses issues related to the normal operation of floor devices of railway automation and telemechanics located within the boundaries of the Trans-Baikal Railway in terms of the organization of grounding. The issues of organization and operation of grounding circuits of the electrical centralization post are considered, taking into account the specifics of the soil layers of the Trans-Baikal Territory and the Amur Region.

Organizational and technical measures are proposed to bring the grounding resistance to the normalized values. One of the technical measures is the use of an Avramenko plug connected in parallel to the grounding circuit, which reduces the resistance of the grounding circuit of the electrical centralization post.

Keywords: *grounding, EC post, transformer substation, resistance, soil, polygon.*

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки электроустановки или оборудования с заземляющим устройством (ЗУ) для сохранения на них достаточно низкого потенциала и обеспечения нормальной работы системы в выбранном режиме [1, 2].

Все системы заземления объединяют между собой в общую систему заземления подстанции, и как следствие, это позволяет уменьшить затраты на ЗУ и суммарное сопротивление заземления.

В настоящий момент, большой проблемой Забайкальской железной дороги является плавающее заземление, возникающее из-за условий вечной мерзлоты, болотистой местности и грунтовых почв с щебёнкой, которыми богат Забайкальский край. Забайкальский участок РЖД единственный во всей России, обладающий таким разнообразием природных условий, что приводит к нарушениям норм защиты заземлений, которые, согласно [3], составляют 4 Ом. Расположение Забайкальской железной дороги, представлена на рисунке 1.



Рис.1. Карта ЗабЖД

Почвенная карта России, на которой можно подробно рассмотреть все почвы Забайкальской железной дороги, представлена на рисунке 2.

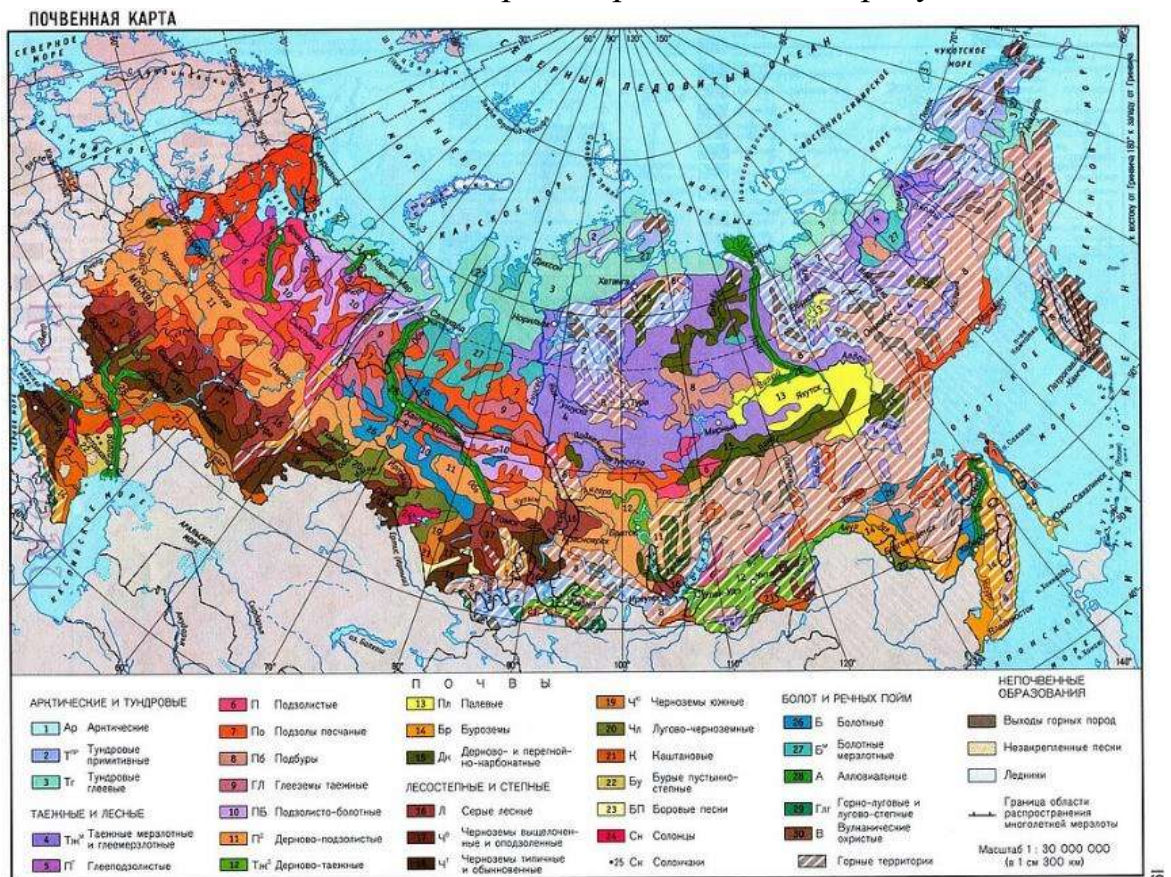


Рис.2. Почвенная карта России

Узнать величину плавающего сопротивления контуров заземления постов ЭЦ можно двумя способами:

– по методике Р. Н. Карякина

$$R_{\text{кзп}} = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \cdot \frac{\lambda \cdot C_{11} \cdot C_{22} - C_{22}^2}{C_{11} + \lambda C_{22} - 2C_{12}}, \quad (1)$$

где L – суммарная длина всех горизонтальных проводников сетки;
C_{ig} – безразмерный коэффициент, зависящий от конструктивных параметров заземлителя.

– по методике Васильева

$$R_{\text{кзп}} = 0,443 \cdot \frac{\rho_2}{\sqrt{S}} \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) g + \frac{\rho_1}{L + n \cdot l_b}, \quad (2)$$

где ρ₁ – удельное сопротивление верхнего слоя грунта толщиной H;
ρ₂ – сопротивление нижнего слоя грунта.

В настоящее время существует множество приборов, которые могут всесторонне охарактеризовать состояние заземляющих устройств [4]. Один из таких приборов – многофункциональный измеритель MRU-200 (изображен на

рисунке 3). В данном приборе реализованы все существующие методы контроля параметров ЗУ.

Данный прибор может использоваться в условиях резко-континентального климата, что позволяет производить замеры и в зимнее время года.



Рис.3. Внешний вид многофункционального прибора MRU-200

Согласно [5] ЗУ зданий или сооружений, содержащих технические средства железнодорожной инфраструктуры, необходимо выполнять в виде периметрального контура заземления, прокладываемого вокруг всего периметра здания/сооружения на глубине 0,5-0,7 метров на расстоянии ~1 метр от здания/сооружения.

В случае если контур здания/сооружения имеет в плане форму невыпуклого многоугольника, допускается выполнение контура заземления в виде выпуклого многоугольника, если в этой области не расположены входы в здание/сооружение и, если расстояния между частями здания/сооружения, образующими невыпуклые зоны не превышает 2 метров, например, как показано на рисунке 4.

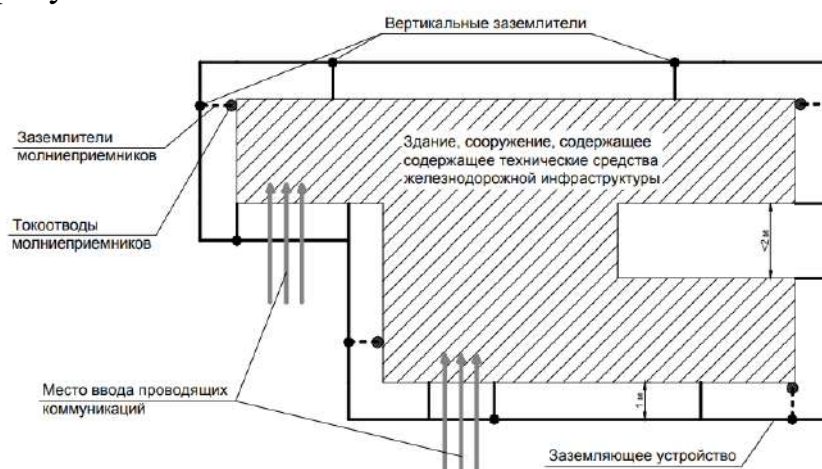


Рис.4. Схема ЗУ здания/сооружения, содержащего технические средства железнодорожной инфраструктуры

Типовая схема заземления устройств электроснабжения поста ЭЦ представлена на рисунке 5.

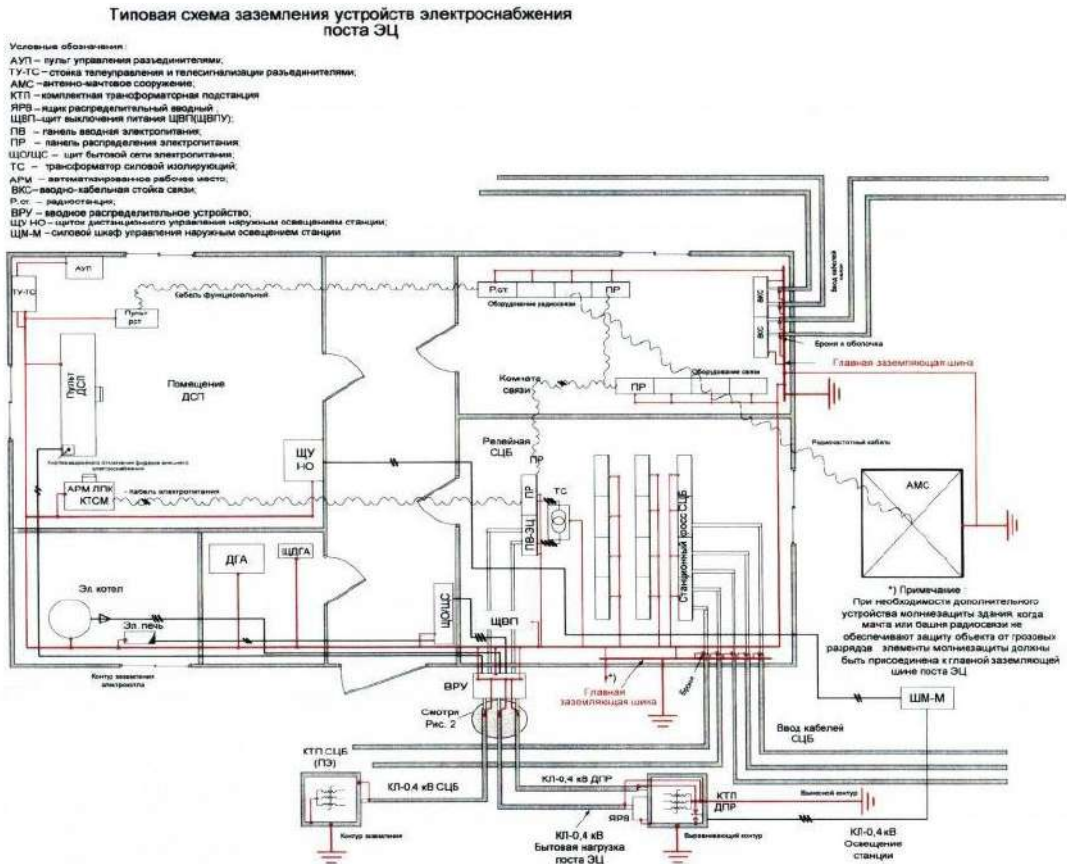
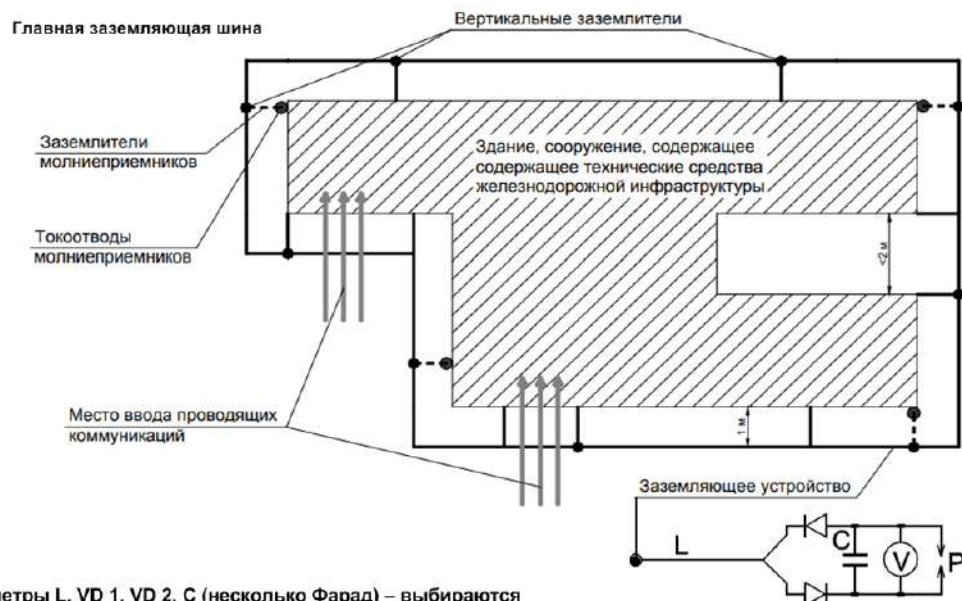


Рис.5. Типовая схема заземления устройств электроснабжения поста ЭЦ

Согласно типовой схеме ЗУ необходимо располагать в муфтах и обеспечить увязку.



Параметры L, VD 1, VD 2, C (несколько Фарад) – выбираются индивидуально, исходя из величины имеющегося сопротивления контура заземления и величины, до которого его необходимо снизить. Накапливаемую на конденсаторе энергию необходимо «сравливать» - для этого предусмотрена активная нагрузка P, в качестве которой могут выступить элементы отопления или вентиляции в здании поста ЭЦ

Рис. 6. Вариант ЗУ с применением вилки Авраменко

Заключение

В качестве организационных мероприятий, предлагается организовать проверки сопротивления проблемных контуров заземления постов ЭЦ дважды в год – в апреле после таяния снега и в октябре, когда закончатся дожди и до первого снега.

В качестве технического мероприятия предлагается добавить второй контур заземления, либо увеличить число заземлителей по самому контуру, это позволит придерживаться нормы в 4 Ома [1, 2, 3].

Так же предлагаемым техническим мероприятием является подключение вилки Авраменко (рисунок 6), параллельно заземляющему устройству, что позволит снизить величину сопротивления контура заземления.

Литература

1. ГОСТ Р 58321-2018. «Национальный стандарт Российской Федерации. Электроустановки систем тягового электроснабжения железной дороги переменного тока. Требования к заземлению». М.: 2018 – 28 с.

2. ГОСТ Р 58232-2018. «Объекты железнодорожной инфраструктуры. Комплексная защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Общие требования». М.: 2018 – 95 с.

3. Приказ Минэнерго России от 13.01.2003 N 6 (ред. от 13.09.2018) "Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей". – М. 2021. – 208 с.

4. The analysis of modern diagnostic and monitoring devices for the traction power supply system / A. V. Agunov, I. A. Terekhin, O. A. Stepankaya [et al.] // BRICS Transport. – 2023. – Vol. 2, No. 1. – DOI 10.46684/2023.1.7.

5. Приказ Минтранса России N 330 от 02.12.2014 г. СВОД ПРАВИЛ «Тяговое электроснабжение железной дороги». - ОАО «РЖД». – 86 с.

Сведения об авторах:

Востриков М.В. – старший преподаватель кафедры «ЭлС» ЗаБИЖТ ИрГУПС.

Данилова А.Ю. - студент 4-го курса, группы СОД.2-20-1 кафедры «ЭлС», ЗаБИЖТ ИрГУПС.

КОНДУКТИВНАЯ НИЗКОЧАСТОТНАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПОМЕХА ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

*Денчик, Ю.М., Романов М.Н., Дворцов П.П., Иванов Д.М.
ФГБОУ ВО «СГУВТ», г. Новосибирск, Российская Федерация
ФГБОУ ВО «НГТУ», », г. Новосибирск, Российская Федерация
E-mail: mackarow.aleks2013@yandex.ru*

***Аннотация:** Приведена методика расчёта кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи (ЭМП) по коэффициенту несимметрий напряжений по обратной последовательности δK_{2U} как вызовы угрозы энергетической безопасности электропотребителя. Представлена физико-логическая схема возникновения, распространения в сети одного класса напряжения и воздействия δK_{2U} на технические средства как рецептора.*

***Ключевые слова:** напряжение обратной последовательности, кондуктивная низкочастотная ЭМП, несимметрия напряжений.*

CONDUCTIVE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE BY NEGATIVE SEQUENCE VOLTAGE UNSYMMETRY FACTOR

***Annotation:** A method for calculating conducted low-frequency electromagnetic interference (EMI) using the negative sequence voltage asymmetry coefficient is presented δK_{2U} . as challenges to the energy security of the consumer. A physical and logical diagram of the occurrence, propagation in a network of one voltage class and impact is presented δK_{2U} . on technical means as a receptor.*

***Keywords:** negative sequence voltage, conducted low-frequency EMI, voltage unbalance.*

Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144-2013 устанавливает нормы на показатели качества электрической энергии в точках передачи электроэнергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжений систем электроснабжения (СЭС) общего назначения переменного тока частотой 50 Гц. Указанные нормы не рассматривают в качестве уровней электромагнитной совместимости (ЭМС) для кондуктивных низкочастотных ЭМП и предельных значений электромагнитных помех [1].

Показатель степени несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} является непрерывно распределённой случайной величиной, определяется в действующих сетях измерительно-вычислительными комплексами (ИВК) или приборами, допущенными к

измерениям показателей КЭ Госстандартом России (типа Ресурс-ПКЭ). Нормативные методы измерений изложены в ГОСТ 30804.4.30 и ГОСТ 30804.4.7 [1]. ИВК позволяют: осуществлять разбиение интервала наблюдения на необходимое число разрядов (n) любой длины; рассчитывать усреднённые значения (математические ожидания) и вероятности их появления в этих разрядах; определять законы распределения K_{2U} , обусловленные конкретными ЭМО в сетях. Экспериментально формируют поле событий, которое представляется таблицей вероятностей вида [2, 3]

$$K_{2U} \left\{ \begin{array}{c} K_{2U,1}, K_{2U,2}, K_{2U,3}, \dots, K_{2U,i}, K_{2U,n} \\ P_1(K_{2U,1}), P_2(K_{2U,2}), P_3(K_{2U,3}), \dots, P_i(K_{2U,i}), P_n(K_{2U,n}) \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где $K_{2U,1}, K_{2U,2}, K_{2U,3}, \dots, K_{2U,i}, \dots, K_{2U,n}$ – значения коэффициента K_{2U} усреднённые в интервале времени 10 мин в течение недели, %; $P_1(K_{2U,1}), P_2(K_{2U,2}), P_3(K_{2U,3}), \dots, P_i(K_{2U,i}), \dots, P_n(K_{2U,n})$ – вероятности появления этих значений, о.е.

Допустим что: нормы на K_{2U} , установленные в стандарте [1] или согласованные в определённом порядке сторонами договора на электроснабжение, совпадают и являются уровнями ЭМС технических средств для кондуктивной низкочастотной ЭМП δK_{2U} ; $K_{2U,H}=2\%$ – нормальное значение; $K_{2U,\Pi}=4\%$ – предельное значение.

Кондуктивная низкочастотная ЭМП δK_{2U} появляется в сети (рисунок 1) тогда, когда вероятность нахождения K_{2U} в течение недели в пределах ($K_{2U,H}; K_{2U,\Pi}$) превышает 0,05 или в пределах ($K_{2U,\Pi}; \infty$) не равна нулю. Она появляется при выполнении любого условия [2]. Процесс формирования этой помехи представляется математической моделью [2, 3]

$$K_{2U} \left[\begin{array}{c} P(K_{2U,H} < K_{2U,i} < K_{2U,\Pi}) > 0,05; \\ P(K_{2U,\Pi} < K_{2U,i} < \infty) \neq 0 \end{array} \right] \subset \delta K_{2U}, \quad (2)$$

где $P(K_{2U,H} < K_{2U,i} < K_{2U,\Pi})$ и $P(K_{2U,\Pi} < K_{2U,i} < \infty)$ – вероятности попадания случайной величины K_{2U} в указанные пределы, о.е.

Для вычисления параметров распределения сформировавшейся помехи воспользуемся положениями производящих функций теории вероятностей и математической статистики, которые результативнее методов теории характеристических функций. По природе непрерывно распределённые случайные величины K_{2U} и δK_{2U} обусловлены единым электромагнитным процессом возникновения несимметрии напряжений по обратной последовательности. Математически доказано, что кондуктивная

низкочастотная ЭМП δK_{2U} является производящей функцией коэффициента K_{2U} и задана математическим ожиданием показательной функции вида $e^{tK_{2U}}$, где t – вспомогательный параметр, характеризующий момент времени измерения K_{2U} в течение недели.

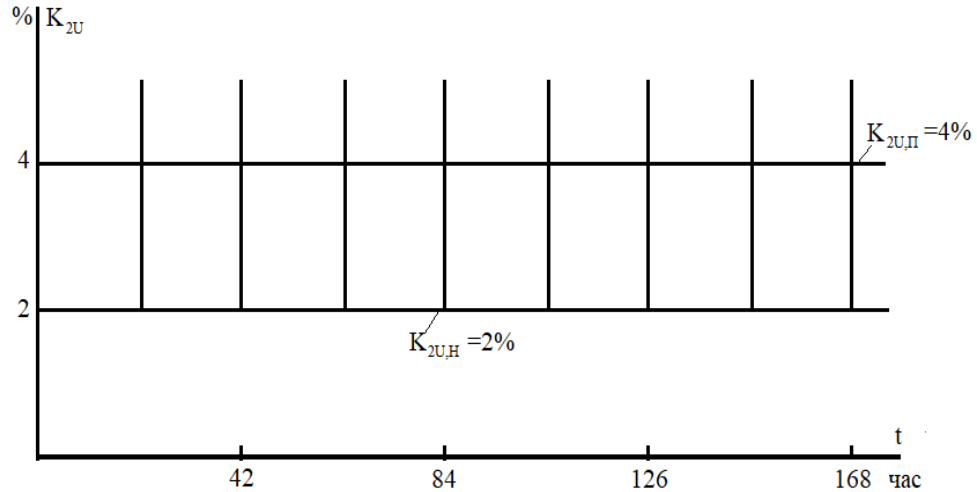


Рисунок 1 – Области появления кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности

Состоятельность применения производящей функции основывается на доказательстве теоремы о начальных моментах: начальные моменты распределения непрерывно распределённой случайной величины $K_{2U,i}$, заданного вероятностями $P_i(K_{2U})$, равны значениям k -ой производной от функции $\delta K_{2U}(t)$ в точках $t=0$. Важнейшим следствием этой теоремы является возможность использовать математическое ожидание непрерывно распределённой случайной величины $M[K_{2U}]$ для оценки математического ожидания её производящей функции $M[\delta K_{2U}]$, т.е.

$$M[K_{2U}] = M[\delta K_{2U}]. \quad (3)$$

Центральные моменты распределения случайной величины K_{2U} и её производящей функции δK_{2U} одинаковы. В частности, дисперсии

$$D[K_{2U}] = D[\delta K_{2U}], \quad (4)$$

и средние квадратические отклонения

$$\sigma[K_{2U}] = \sigma[\delta K_{2U}]. \quad (5)$$

Теоремы единственности и непрерывности теории производящих функций [2, 3] доказывают, что плотность вероятности распределения непрерывной случайной величины K_{2U} , характерная для определённого закона распределения теории вероятностей и математической статистики,

соответствует плотности вероятности распределения её производящей функции δK_{2U} [2], т.е.

$$\psi\{K_{2U}, M[K_{2U}], \sigma[K_{2U}]\} = \psi\{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\}, \quad (6)$$

где $\psi\{K_{2U}, M[K_{2U}], \sigma[K_{2U}]\}$ – плотность вероятности распределения случайной величины K_{2U} , 1/0%; $\psi\{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\}$ – то же величины δK_{2U} , 1%.

Таким образом, непрерывно распределённые случайные величины K_{2U} и δK_{2U} имеют идентичные интегральные функции распределения [3]

$$F\{K_{2U}, M[K_{2U}], \sigma[K_{2U}]\} = F\{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\}. \quad (7)$$

Это равенство позволяет определить вероятность попадания δK_{2U} в интервал $(K_{2U,H}; K_{2U,\Pi})$

$$\begin{aligned} P(K_{2U,H} < \delta K_{2U} < K_{2U,\Pi}) &= \int_2^4 \psi\{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\} d(\delta K_{2U}) = \\ &= \int_2^4 \psi\{K_{2U}, M[K_{2U}], \sigma[K_{2U}]\} d(K_{2U}). \end{aligned} \quad (8)$$

Вероятность попадания δK_{2U} в интервал $(K_{2U,\Pi}; \infty)$ задана стандартом [1] и составляет

$$P(K_{2U,\Pi} < \delta K_{2U} < \infty) = \int_{K_{2U,\Pi}}^{\infty} \psi\{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\} d(\delta K_{2U}) = 1,0. \quad (9)$$

Два события $(K_{2U,H} < \delta K_{2U} < K_{2U,\Pi})$ и $(K_{2U,\Pi} < \delta K_{2U} < \infty)$ несовместимы, но в сумме составляют достоверное событие – появление δK_{2U} как режимного параметра сети с характерной интегральной функцией распределения

$$F(\delta K_{2U}) = \int_{K_{2U,H}}^{\infty} \psi\{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\} d(\delta K_{2U}). \quad (10)$$

Математическая модель вероятности появления кондуктивной низкочастотной ЭМП δK_{2U} в неуравновешенной трёхфазной сети (мгновенная мощность является функцией времени) имеет вид [2, 3, 4]

$$\begin{aligned} P(\delta K_{2U}) &= P[\delta K_{2U} \in (K_{2U,H}; \infty)] = \\ &= P(K_{2U,H} < \delta K_{2U} < K_{2U,\Pi}) + P(K_{2U,\Pi} < \delta K_{2U} < \infty) - 0,05. \end{aligned} \quad (11)$$

Статистическая оценка параметра распределения несимметрии напряжений по обратной последовательности на основе данных, полученных от современных ИВК, и применения программных средств [5] позволяет осуществить автоматизированный расчёт кондуктивной низкочастотной ЭМП δK_{2U} . Физико-логическая схема возникновения, распространения в сети одного

класса напряжения и воздействия δK_{2U} на технические средства как рецепторы представлена на рисунке 2. Основным каналом распространения δK_{2U} является гальваническая связь по проводам воздушных линий и жилам кабельных линий.



Рисунок 2 – Физико-логическая схема возникновения, распространения в сети одного класса напряжения и воздействия δK_{2U} на технические средства как рецепторы

Заключение

Таким образом, показатель КЭ K_{2U} как электромагнитная помеха [ГОСТ Р 51317.2.5-200 (МЭЛ 61000-2-5-95)] представляется режимным параметром электрической сети δK_{2U} , который имеет следующие свойства [2, 3]:

- является непрерывно распределённой случайной величиной, определяемой путём математической обработки результатов измерений K_{2U} ИВК или другими поверенными приборами;
- имеет характерную интегральную функцию распределения, рассматривается как заданная функция, область определения которой во временном измерении формирует совокупность значений K_{2U} поля событий за неделю;
- представляется параметрами распределения: $M[\delta K_{2U}]$ – математическое ожидание, %; $\sigma[\delta K_{2U}]$ – среднее квадратическое отклонение, %;
- характеризуется вероятностью появления за расчётный период $P(\delta K_{2U})$, о.е.;
- поддаётся автоматизированному расчёту;
- распространяется в сети одного класса напряжения (в сети возникновения помехи) по каналу гальванической связи (по силовым цепям линий электропередачи);
- проникает в смежные электрические сети ЭЭС.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической

энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. с 01.07.2014 г. – М.: Стандартиформ, 2014 – 16 с.

2. Данилов, Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи: монография / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова: - М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 558 с.

3. Сальников, В.Г. Несимметрия напряжений в трёхфазных системах как электромагнитная помеха: учебное пособие / В.Г. Сальников. Е.В. Иванова, Е.Ю. Кислицин и др. – М.: Изд-во «Знание-М», 2022. – 94 с.

4. Свидетельство о регистрации электронного ресурса №23380. Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности / А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Н.В. Зубанова, Д.М. Иванов, А.А. Руппель, В.Г. Сальников. – М.: ИУО РАО ОФЭРНиО, 2017.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2016661752. Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности / А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Н.В. Зубанова, Д.М. Иванов, А.А. Руппель, В.Г. Сальников - №2016619225; заявл. 30.08.16, опубл. 20.11.16. Бюл 11(121). – 1 с.

Сведения об авторах:

Денчик Ю.М. – к.т.н., Федеральное Бюджетное Общеобразовательное Учреждение Высшего Образования «Сибирский Государственный Университет Водного Транспорта».

Романов М.Н. – старший преподаватель, Федеральное Бюджетное Общеобразовательное Учреждение Высшего Образования «Сибирский Государственный Университет Водного Транспорта».

Дворцов П.П. – аспирант, Федеральное Бюджетное Общеобразовательное Учреждение Высшего Образования «Сибирский Государственный Университет Водного Транспорта».

Иванов Д.М. – аспирант, Федеральное Бюджетное Общеобразовательное Учреждение Высшего Образования «Новосибирский Государственный Технический Университет».

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЖИМА АВТОКОЛЕБАНИЙ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

Дидух Д.Р.

Менакер К.В., научный руководитель

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал
федерального государственного образовательного учреждения высшего
образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИрГУПС), г. Чита, Россия*

E-mail: menkot@mail.ru

***Аннотация:** Источники электропитания являются неотъемлемой частью любой электротехнической системы. Импульсные источники электропитания на основе одноконтурной и двухконтурной схемы получили наибольшее распространение. Квазирезонансные схемы применяют в основном только при построении источников электропитания большой мощности. Открытый авторами режим автоколебаний короткозамкнутого отрезка длинной линии позволяет создавать высокоэффективные импульсные источники электропитания малой и средней мощности с применением простых и надежных технических решений. В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся схемотехники построения подобного рода источников электропитания, особенности исполнения и настройки отрезков длинной линии на указанный режим.*

***Ключевые слова:** длинная линия, режим автоколебаний, электрический резонанс, волновой резонанс, источник электропитания.*

CREATION OF HIGHLY EFFECTIVE POWER SUPPLY SOURCES BASED ON THE SELF-OSCILLATION MODE OF A SHORT-CIRCUITED LONG LINE

***Annotation:** Power supplies are an integral part of any electrical engineering system. Switching power supplies based on a single-stroke and two-stroke circuit have received the greatest distribution. Quasi-resonant circuits are mainly used only in the construction of high-power power sources. The self-oscillation mode of a short-circuited segment of a long line, discovered by the authors, makes it possible to create highly efficient pulsed power sources of low and medium power using simple and reliable technical solutions. This article discusses the issues related to the circuitry of building such power supplies, the specifics of the design and configuration of long line segments for the specified mode.*

***Keywords:** long line, self-oscillation mode, electric resonance, wave resonance, power supply.*

В работе [1] был раскрыт механизм обнаруженного режима автоколебаний короткозамкнутого отрезка длинной линии, в основе которого лежит многократное сложение падающей и отраженной волны от короткозамкнутого участка длинной линии и параллельно подключенного емкостного элемента в начале линии. Схема замещения исследуемого отрезка длинной линии представлена на рисунке 1.

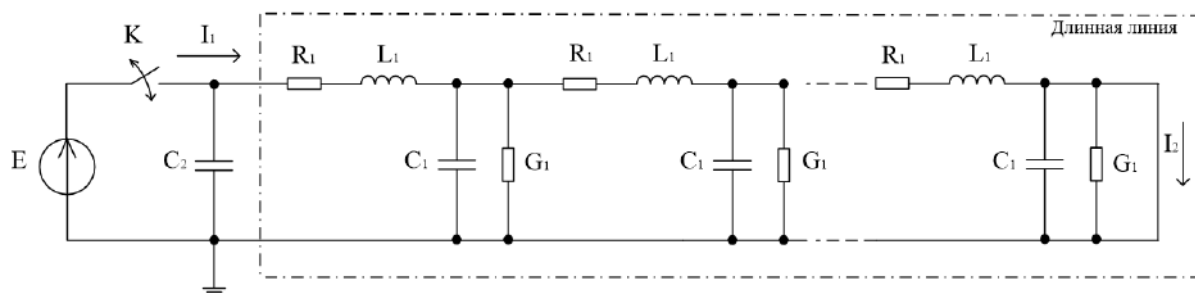


Рис.1. Схема замещения исследуемого отрезка длинной линии

При замыкании ключа K и подключении схемы к постоянному источнику напряжения емкость C_2 скачком заряжается до значения напряжения источника E , а ток в конце линии по экспоненте увеличивается до значения $E/R_1 \cdot l$. При последующем размыкании ключа переходной процесс в анализируемой схеме будет зависеть от длины отрезка линии, от его комплексного входного сопротивления, которое в режиме короткого замыкания $Z_n = 0$ определяется выражением [2]:

$$Z = \frac{Z_n \cdot ch(\gamma \cdot l) + Z_e \cdot sh(\gamma \cdot l)}{Z_n \cdot sh(\gamma \cdot l) + Z_e \cdot ch(\gamma \cdot l)} \cdot Z_e = \frac{sh(\gamma \cdot l)}{ch(\gamma \cdot l)} \cdot Z_e \quad (1)$$

где
$$\gamma = \sqrt{(R_1 + pL_1) \cdot (G_1 + pC_1)}, \quad Z_e = \sqrt{(R_1 + pL_1)/(G_1 + pC_1)}$$

γ , Z_e , l - коэффициент распространения, волновое сопротивление и длина линии соответственно;

L_1, C_1, R_1, G_1 - погонная индуктивность, емкость, сопротивление, проводимость соответственно.

С целью повышения эффективности создаваемого источника электропитания необходимо стремиться к реализации отрезка длинной линии с минимизацией удельных омических потерь $R_l \rightarrow 0$, $G_l \rightarrow 0$. Выполнение условия $R_l \rightarrow 0$ при реализации действующей схемы достигается применением специального провода - высокочастотного литцендрата, изготавливаемого с использованием множества скрученных определенным образом одиночных проводов, электрически изолированных друг от друга, работающего в диапазоне частот от 10 кГц до 5 МГц [2].

Рабочий диапазон частоты короткозамкнутого отрезка длинной линии в составе предлагаемого источника электропитания составляет от 1 до 5 МГц. При этом наилучшие результаты показывает конструкция литцендрата с одножильными изолированными жилами толщиной менее 50 мкм при диаметре провода 2,5 мм [2].

Значительного снижения утечек тока через изоляцию ($G_I \rightarrow 0$) удается достичь бифилярным способом намотки литцендрата в пазах трех или четырехзаходной резьбы, выполненной на фторопластовом цилиндрическом основании (рис. 2).

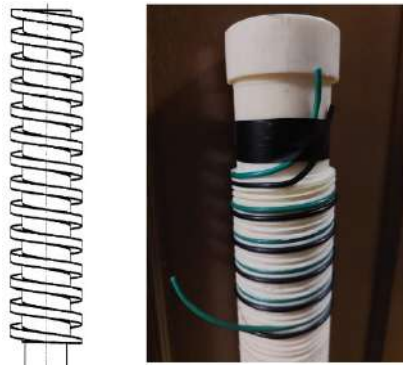


Рис.2. Бифилярный способ намотки длинной линии в пазах фторопласта

Для линии без потерь ($\gamma = j\beta = j2\pi/\lambda$, $Z_e = R_e = \sqrt{L_1/C_1}$) выражение (1) принимает вид [3]:

$$Z_k = R_e \cdot th(j \cdot \beta \cdot l) = j \cdot R_e \cdot tg(\beta \cdot l) = j \cdot R_e \cdot tg(2\pi \cdot l / \lambda) \quad (2)$$

где $\lambda = 2\pi / \omega \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}$ - длина волны для линии без потерь.

Согласно выражения (2) входное сопротивление короткозамкнутой линии может принимать значение в широких пределах в зависимости от длины линии. С точки зрения анализируемой схемы и процессов интерес представляет короткозамкнутый отрезок линии длиной $l < \lambda/4$, входное сопротивление которого имеет индуктивный характер. В этом случае емкость C_2 образует с отрезком короткозамкнутой линии колебательный контур. Величину эквивалентной индуктивности этого отрезка можно найти из выражения [3]:

$$L_{э\text{кв}} = \frac{1}{\omega_{св}} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \cdot tg[l \cdot \omega_{св} \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}] \quad (3)$$

где $\omega_{св}$ - циклическое значение частоты свободных колебаний, контура образованного емкостью C_2 и короткозамкнутым отрезком длинной линии.

Выражение (3) неразрешимо, поскольку первоначально не известна длина линии и частота свободных колебаний контура, образованного емкостью

C_2 и эквивалентной индуктивностью $L_{\text{экв}}$ короткозамкнутого отрезка длиной линии [3]:

$$f_{\text{св}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{\text{экв}} \cdot C_2}} \quad (4)$$

Вопрос определения длины короткозамкнутого отрезка линии и частоты ее свободных колебаний, при которых будет действовать режим автоколебаний, решается следующим образом. Для начала выбираем марку провода литцендрата и подгоняем удельные параметры длиной линии путем изменения шага многозаходной резьбы и расстояния между соседними пазами, нарезанными на фторопластовой основе, таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$R_1 / L_1 = G_1 / C_1 \quad (5)$$

Условие (5) является необходимым для неискажающей передачи колебаний в линии с потерями. В такой линии волновое сопротивление принимает значение как для линии без потерь:

$$Z_{\text{св}} = \sqrt{\frac{L_1 \cdot (R_1 / L_1 + j\omega)}{C_1 \cdot (G_1 / C_1 + j\omega)}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = R_{\text{св}} \quad (6)$$

причем, так же как и волновое сопротивление, фазовая скорость и коэффициент ослабления в линии без искажений не зависят от частоты [3].

Следует отметить, что выполнение условия (6) является желательным, но не обязательным. Главное при выборе марки провода и параметров его катушки руководствоваться стремлением к минимальным электрическим потерям.

Следующим шагом задаемся значением длины l короткозамкнутого отрезка линии, ориентируясь на четверть длины волны относительно рабочей частоты. Для прототипа источника электропитания линии примем длину $l = \lambda / 4 = 30,2 \text{ м}$.

Для выбранной длины линии и ее удельных параметров определим частоту свободных колебаний, используя выражение (4). Для анализируемого короткозамкнутого отрезка линии длиной 30,2 м частота свободных колебаний без учета емкости C_2 составит $f_{\text{св}} = 2,481 \text{ МГц}$. Уменьшим выбранное значение длины короткозамкнутого отрезка линии ровно в два раза $l/2 = \lambda/8 = 15,1 \text{ м}$, сохранив частоту свободных колебаний как для линии длиной $l = \lambda/4 = 30,2 \text{ м}$ на уровне $f_{\text{св}} = 2,481 \text{ МГц}$ за счет подключения на входных концах емкости C_2 . Двухкратное уменьшение длины линии до значения $l/2 = \lambda/8$ является обязательным требованием для получения режима автоколебаний длиной линии по трем причинам.

Во-первых, согласно выражения (2) при длине линии менее четверти длины волны $0 < l/\lambda < 1/4$ входное ее сопротивление имеет индуктивный характер и обеспечивает стабильную работу колебательного контура совместно с емкостью C_2 .

Во-вторых, при длине линии $\lambda/8$ и частоте свободных колебаний, найденной для линии длиной $l = \lambda/4$, входное сопротивление линии равно волновому сопротивлению линии без потерь $R_g = \sqrt{L_1/C_1}$. Это следует из выражений (3) и (4) при длине линии $l/2 = \lambda/8$.

$$\omega_{св} L_{экв} = \frac{\omega_{св}}{\omega_{св}} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \cdot \operatorname{tg} \left[\frac{l}{2} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{4 \cdot l \sqrt{L_1 \cdot C_1}} \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1} \right] = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} \right) = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = R_g \quad (7)$$

Отрезок линии длиной $\lambda/8$ преобразует произвольное резистивное сопротивление в сопротивление, модуль которого равен $R_g = \sqrt{L_1/C_1}$ [3]. Таким образом, уменьшение длины линии до $\lambda/8$ позволяет, по сути, исключить потери, связанные с удельным активным сопротивлением провода линии и утечками через изоляцию.

И в третьих, при уменьшении длины линии до значения $\lambda/8$ частота свободных колебаний контура, образованного емкостью C_2 и эквивалентной индуктивностью $L_{экв}$ короткозамкнутого отрезка длинной линии $f_{св}$ в два раза ниже частоты свободных колебаний прямой и падающей волны этой же линии длиной $\lambda/8$, но без подключенной емкости C_2 , что является определяющим в обеспечении режима автоколебаний.

Таким образом, для обеспечения режима автоколебаний короткозамкнутого отрезка длинной линии с подключенной емкостью C_2 на входе остается только рассчитать численное значение этой емкости, используя выражения (4) и (7):

$$C_2 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{св}^2 \cdot L_{экв}} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{св}^2 \cdot \frac{R_g}{2 \cdot \pi \cdot f_{св}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{св} \cdot R_g} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{4 \cdot l \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}} =$$

$$= \frac{2 \cdot l \cdot C_1}{\pi} = \frac{2 \cdot 30,2 \text{ м} \cdot 9,27 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}}{\pi} = 178,3 \text{ нФ} \quad (8)$$

Результаты имитационного моделирования и экспериментальной проверки анализируемой схемы при размыкании ключа K приведены на рис. 3.

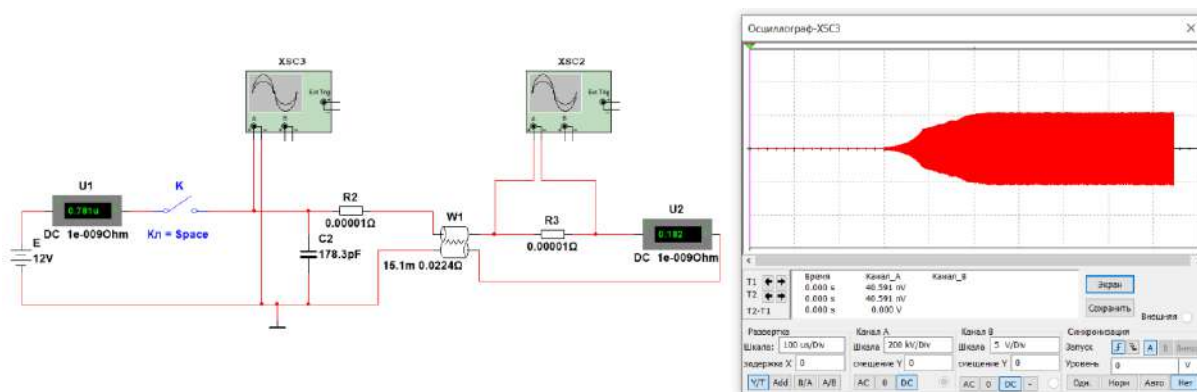


Рис.4. Осциллограмма напряжения на входе отрезка длинной линии, полученная при подключенной емкости C_2 и размыкании ключа K

Анализ полученной осциллограммы показывает, что при размыкании ключа K в линии возникают возрастающие и далее во времени длительно незатухающие колебания с периодом 403 нс, что соответствует частоте 2,481 МГц. Причины этого явления понятны и объяснимы.

В момент размыкания электронного ключа K в короткозамкнутом отрезке линии длиной $\lambda/8$, при подключенной емкости C_2 , в линии возникают периодические колебания. Линия при правильной настройке работает в режиме неискажающей передачи колебаний и исключением потерь. Вследствие синхронного взаимодействия волновых и электрических процессов, ток в конце линии растет от волны к волне без увеличения напряжения на входе линии. В результате роста тока и изменения знака напряжения на входе линии происходит периодический перезаряд емкости C_2 со сложением предшествующего значения напряжения с последующим. Увеличение напряжения приводит к неизменному еще большему увеличению тока в конце линии. Через определенный временной промежуток процесс колебаний становится стационарным.

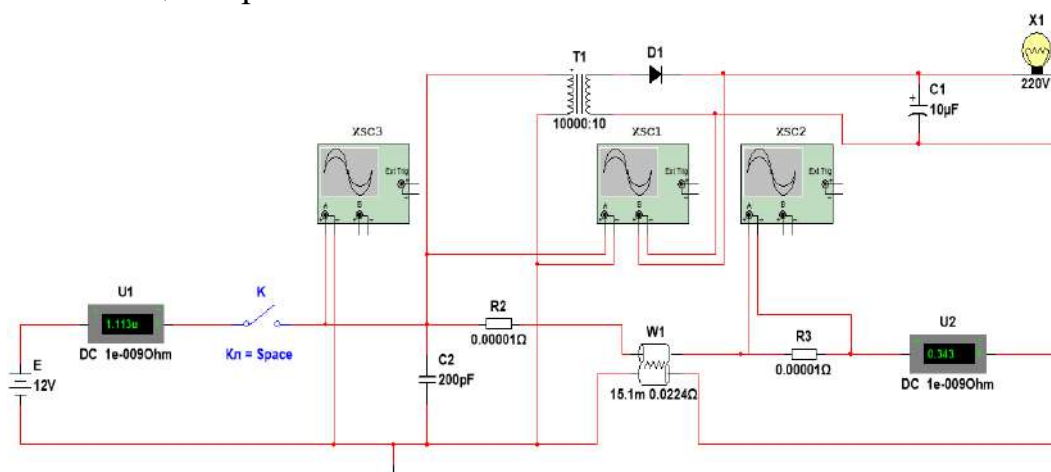


Рис.5. Упрощенная схема высокоэффективного источника электропитания

Заключение

Найденный режим автоколебаний был положен в основу высокоэффективного источника электропитания, упрощенная схема которого представлена на рис. 5.

Литература

1. Исследование режима автоколебаний короткозамкнутой длинной линии / К. В. Менакер, С. М. Куценко, М. В. Востриков, П. В. Савченко // Электротехника. – 2023. – № 11. – С. 69-76. – DOI 10.53891/00135860_2023_11_69. – EDN UVDCEO.
2. <https://www.diada-electro.ru/articles/raschet-litcendrata/>
3. Попов В.П. Основы теории цепей. Учебник для вузов. – 3-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2000 – 575 с.

Сведения об авторах:

Менакер К.В. – доцент кафедры «ЭлС» ЗаБИЖТ ИрГУПС.

Дидух Д.Р. – студент 5-го курса, группы СОД.2-19-1 кафедры «ЭлС», ЗаБИЖТ ИрГУПС.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ 6 кВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДЫХ КАМЕННЫХ УГЛЯХ

Егорова Е.В., Сальников В.Г., Иванова Е.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,
г. Новосибирск, Россия*

E-mail: kati_angel08@mail.ru

Научный руководитель: профессор, д-р техн. наук Сальников В.Г.

Аннотация: *Выяснили, что низкую надежность в работе электроустановок имеют присоединения РУ 6 кВ горно-металлургических предприятий. При выполнении исследования явления перенапряжений высоковольтного асинхронного двигателя экспериментальными методами, встала задача о необходимости разработки математической модели функции $K_{\Pi} = f(I_c, V)$ описывающую зависимость кратности перенапряжений при отключении высоковольтного асинхронного двигателя с заторможенным ротором от параметров питающего кабеля и величины отклонения фазного напряжения на шинах 6 кВ РУ от рабочего значения.*

Ключевые слова: *перенапряжение, математическая модель, заторможенный ротор, фазное напряжение, рабочее значение.*

INCREASING THE EFFICIENCY OF 6 kV NETWORKS FOR OWN NEEDS OF POWER PLANTS OPERATING WITH SOLID COAL

Annotation: *It was found out that the low reliability in the operation of electrical installations have connections of 6 kV ore mining and metallurgical enterprises. When investigating the phenomenon of overvoltage of a high-voltage asynchronous motor by experimental methods, the problem arose of the need to develop a mathematical model of the function $K_{\Pi} = f(I_c, V)$ describing the dependence of the overvoltage multiplicity when disconnecting a high-voltage asynchronous motor with a braked rotor on the parameters of the supply cable and the magnitude of the deviation of the phase voltage on the 6 kV busbar from the operating value.*

Keywords: *overvoltage, mathematical model, braked rotor, phase voltage, operating value.*

Значимость для электроэнергетики узлов нагрузки в сетях 6-10кВ собственных нужд тепловых электростанций работающих на твердых каменных углях, показал Всемирный угольный институт (WorldCoalInstitute), когда опубликовал статистические данные об увеличении доли этого

энергоносителя в выработке электрической и тепловой энергий. Россия является не только крупным экспортером, но и импортером каменного угля. Тепловые электростанции (ТЭС) Сибири и Урала работают на каменных углях Экибастузского угольного бассейна Казахстана. Эти угли характеризуется высокой зольностью, твердостью, большой абразивностью и тугоплавкостью минеральных частей.

Кусковый уголь, доставляемый железнодорожным транспортом на угольный склад электростанции подается в дробильное отделение. Технологические нарушения параметров энергоносителя (влажность, твердость) вызывает забивание дробилок и мельниц, что приводит к их остановкам. Не всегда успешные повторные запуски происходят практически с заторможенными роторами двигателей. При этом особенно опасно отключение заторможенных или разгоняемых высоковольтных асинхронных двигателей. Пусковой ток их содержит большую индуктивную составляющую и энергия, накопленная в обмотках двигателя максимальна, что при коммутации приводит к возникновению в сетях собственных нужд 6-10 кВ значительных коммутационных импульсов и временных перенапряжений. Неоднократные их воздействия на изоляцию вызывают ее пробой. [1]

Математическая модель зависимости максимального импульсного напряжения U_{max} в отключаемой сети при коммутации высоковольтного асинхронного двигателя с заторможенным ротором от основных влияющих факторов имеет вид [1]

$$U_{max} = \left[u_c^2 + 1.23 \cdot i_{cp}^2 \frac{x_k}{\omega C_0} \right]^{0.5}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, c^{-1} ; f - частота переменного тока, Гц; x_k - реактивное сопротивление короткого замыкания высоковольтного асинхронного двигателя, Ом; C_0 - емкость фазы сети на землю при нормальном режиме работы высоковольтного двигателя, Ф; i_{cp} - мгновенное значение тока среза в высоковольтном выключателе (масляном, вакуумном или элегазовом) в момент коммутации, А; u_c - напряжение на эквивалентной емкости (С) двигателя (рисунок 1) в момент коммутации, кВ.

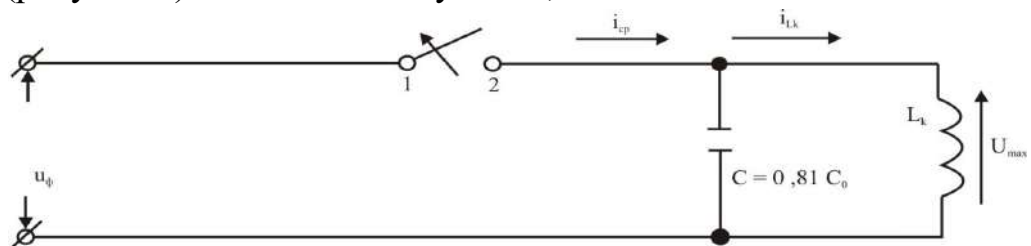


Рис.1. Схема замещения высоковольтного асинхронного двигателя с заторможенным ротором: где L_K - индуктивность обмотки двигателя

На рисунке 2 показан ток среза при коммутации двигателя масляным выключателем

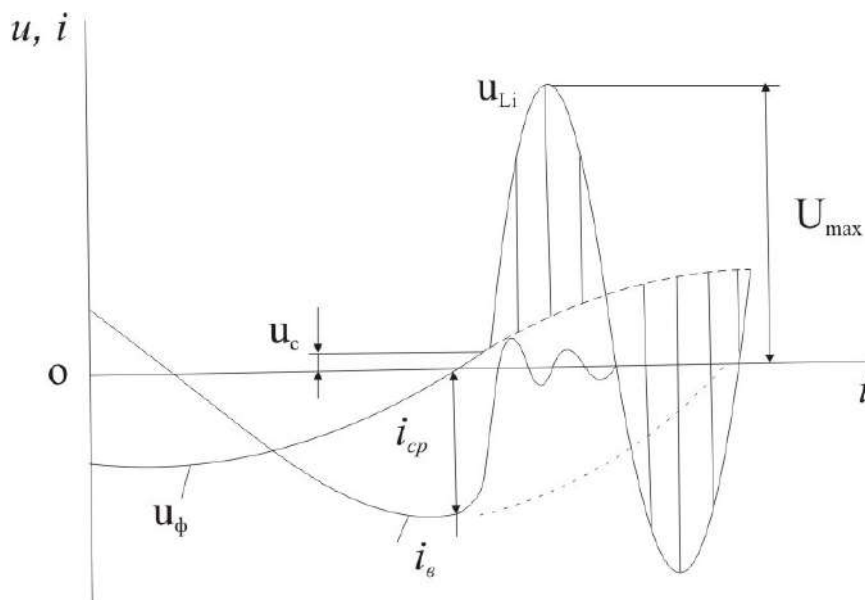


Рис. 2. Срез тока в масляном выключателе: i_g - ток выключателя

Математическая модель (1) не позволяет достоверно определить влияние параметров сети (U_ϕ, C_0) на коммутационное импульсное напряжение из-за недостоверной информации о величине тока среза i_{cp} и величине напряжения u_c на эквивалентной емкости C_0 в момент среза тока. Поэтому были проведены экспериментальные исследования с целью определения другой математической модели, которая не имела бы указанного недостатка.

В связи с этим на основании изучения функциональных зависимостей $C_0 = f(I_c)$ и $U_\phi = f(V)$ (где I_c – емкостной ток замыкания фазы на землю, А; V - установившееся значение отклонения напряжения от номинального рабочего фазного напряжения сети $U_{н,р}$, %) получена (рис. 3) функциональная схема зависимости $K = f(I_c, V)$ (где K - кратность коммутационного импульсного напряжения по отношению к номинальному рабочему фазному напряжению). При осциллографировании коммутационных импульсных напряжений эту кратность можно определить по формуле

$$K = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}U_{н,р}} \quad (2)$$

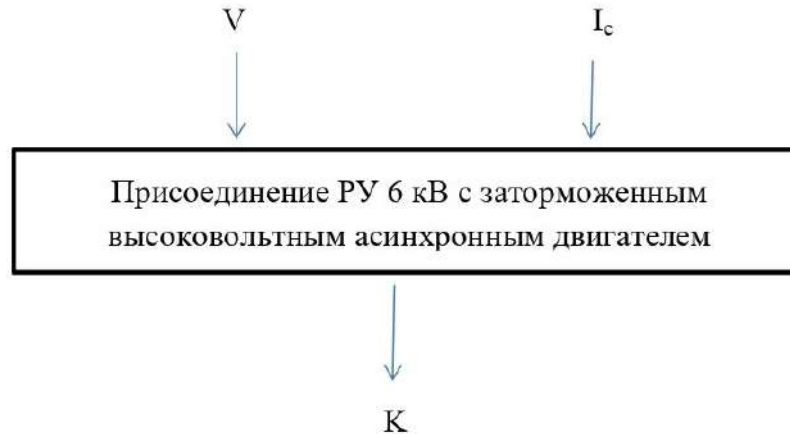


Рис.3. Функциональная схема зависимости $K = f(I_c, V)$

Функциональная схема (рис. 3) позволяет представить задачу по определению кратностей коммутационного импульсного напряжения как экстремальную, решение которой возможно методом планирования эксперимента. Величина K является откликом или выходной величиной, который определен объектом исследования и целью эксперимента. Он удовлетворяет следующим основным требованиям:

- имеет простой физический смысл
- является количественной величиной, доступной определению
- обладает однозначностью, то есть данному набору факторов соответствует с точностью измерения одно значение U_{\max} .

Для экспериментальных исследований был выбран асинхронный двигатель серии АЗ типа 450М-6 ($P_n = 400$ кВт, $U_n = 6$ кВ, $I_n = 48$ А, $n = 985$ об/мин, $\cos\varphi = 0,87$, $I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 6,2$). На основании экспериментальных данных получена математическая модель вида

$$K = 3,77 - 0,73I_c + 0,06V \quad (3)$$

где V - установившееся значение, В.

Адекватность этой математической модели проверялась по критерию Фишера.

Область применения математической модели (3) ограничена следующими пределами изменения влияющих на величину K факторов:

- мощность коммутирующего асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором должна находиться в пределах от 200 до 4000 кВт, а синхронная частота вращения соответствовать одному из перечисленных значений: 500, 600, 750, 1000, 1500, 3000 об/мин;
- отклонение напряжения от номинального рабочего фазного напряжения 6,3 кВ должно находиться в пределах $\pm 5\%$;

- емкостной ток замыкания фазы на землю присоединений РУ 6 кВ должен находиться в пределах от 0,1 до 1,2 А.

Для повышения эффективности сетей 6 кВ собственных нужд электростанций работающих на твердых каменных углях необходимо применение специальных средств защиты от коммутационных импульсных напряжений (ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) и R–Сцепочки) установленные возле электродвигателя.

Литература

1. Иванова Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н.Лизалека – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод.трансп., 2006.-432 с.

2. Данилов Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В.Ситников; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова.- 3-е изд.- Москва; Берлин, 2019.-558 с.

3. Бейер М. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения / М. Бейер и др// пер с нем. П.С. Богуславского; под ред. В.П. Ларионова. –М.: Энергоатомиздат., 1989.-535с.

Сведения об авторах:

Егорова Е.В.- аспирант кафедры «Электрические системы и электротехника», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта».

Сальников В.Г.- профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта».

Иванова Е.В. – профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта».

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (АСЭ) ДО 1000 В С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ившина К.В.

*(Южно-Уральский государственный университет,
г. Челябинск, Российская Федерация)*

E-mail: ivshinakv@susu.ru

Научный руководитель: д.т.н., профессор, А.И. Сидоров

***Аннотация:** в статье рассмотрено описание компьютерной модели автономной системы электроснабжения напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью в программной среде «Matlab-Simulink», состоящей из источника, трансформатора, линии напряжением 380 В с сосредоточенной нагрузкой в конце и включением человека в цепь. Рассмотрены возможные направления исследований электробезопасности с помощью разработанной модели электрической сети.*

***Ключевые слова:** электрическая сеть напряжением 380 В, изолированная нейтраль, компьютерная модель, сопротивление тела человека.*

STUDY OF SAFETY IN AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM (APS) UP TO 1000 V USING COMPUTER SIMULATION

***Annotation:** the article describes a computer model of an autonomous power supply system with a voltage of up to 1000 V with an isolated neutral in the Matlab-Simulink software environment consisting of a source, a transformer, a 380 V line with a concentrated load at the end and the inclusion of a person in the circuit. Possible directions of electrical safety research using the developed model of the electrical network are considered.*

***Keywords:** 380 V electrical network, isolated neutral, computer model, human body resistance.*

Применительно к АСЭ в литературе нет описания методов оценки уровня электробезопасности, поэтому в данном случае необходимо ориентироваться на то, что применяется в распределительных электрических сетях. Для исследования факторов, влияющих на электробезопасность могут быть использованы следующие методы: статистический, аналитический, логико-вероятностный, экспериментальный. Экспериментальный метод включает в себя физическое и компьютерное моделирование. Главное достоинство компьютерного моделирования с точки зрения электробезопасности заключается в том, что эксперименты проводятся без риска для здоровья

человека. Моделировать можно различные АСЭ, с различными источниками питания, с подключением нагрузки разной мощности. Возможно изменение сопротивления тела человека в зависимости от величины приложенного напряжения.

Программный комплекс Matlab с использованием пакета «Simulink» и библиотеки блоков SimPowerSystems позволяет создавать электротехнические системы и исследовать их во времени. Библиотека блоков SimPowerSystems является дополнительной библиотекой Simulink, ориентированных на моделирование конкретных устройств: источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, линий электропередачи и иное оборудование [1].

Подобные компьютерные модели электрических сетей приведены в литературе по электробезопасности, например, [2, 3].

Для исследования влияния параметров сети относительно земли на условия электробезопасности в сетях, образованных воздушными линиями напряжением до 1000 В, была создана компьютерная модель четырехпроводной электрической сети с изолированной нейтралью. Компьютерная модель четырехпроводной воздушной линии 0,38 кВ с изолированной нейтралью, представлена на рисунке 1.

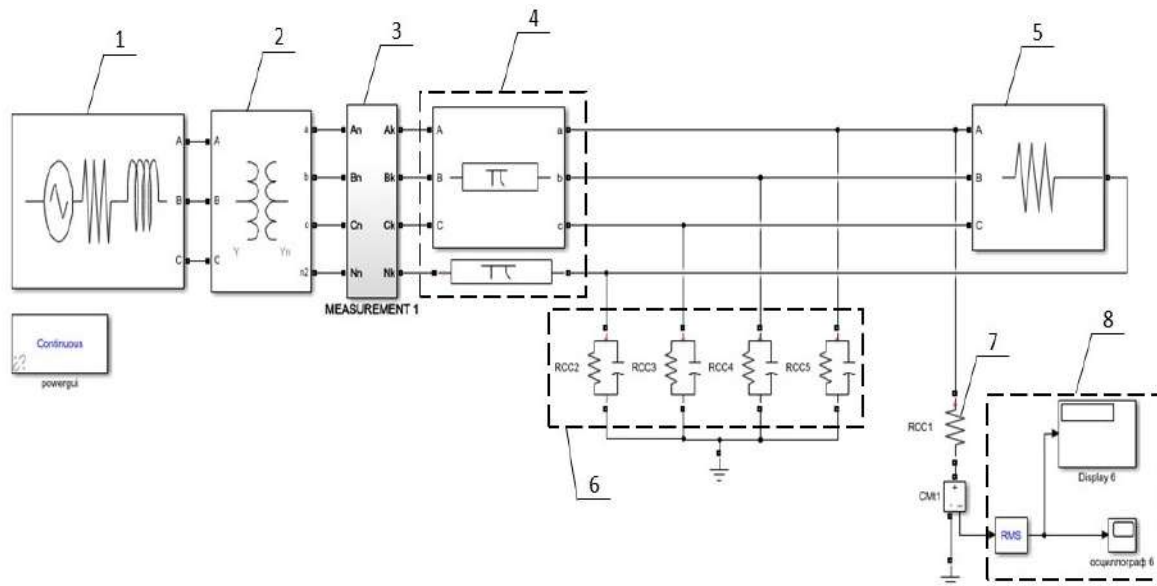


Рисунок 1 – Общий вид компьютерной модели электрической сети
 1 – трехфазный источник электроэнергии напряжением 0,4 кВ;
 2 – двухобмоточный трансформатор; 3 – измерительный комплекс;
 4 – модель четырехпроводной воздушной линии 380 В;
 5 – электрическая нагрузка; 6 – сопротивление изоляции фаз сети относительно земли; 7 – схема замещения сопротивления тела человека;

8 – измерительный комплекс.

Предложенная 4-х проводная схема с изолированной нейтралью свободна от главного недостатка – это существование потенциала определенной величины, создаваемого на зануленных корпусах электроприемников, соединенных между собой PEN-проводником ВЛ 0,38 кВ, обусловленного током несимметрии. В предложенной схеме четвертый провод линии (N) не является защитным проводником, осуществляя исключительно функцию рабочего нулевого проводника, необходимого для подключения однофазных потребителей.

Разработанная компьютерная модель электрической сети напряжением 380 В дает широкие возможности для исследований. Она позволяет моделировать такие режимы электрической сети, которые сложно организовать в реальной сети, поскольку это небезопасно для людей и животных, находящихся рядом с воздушной линией.

Общий вид электрической нагрузки представлен на рисунке 2. Электрическая нагрузка моделируется путем создания блока «Load». Основные параметры блока «Load» – это номинальное напряжение, номинальная частота, активная, индуктивная и емкостная нагрузка.

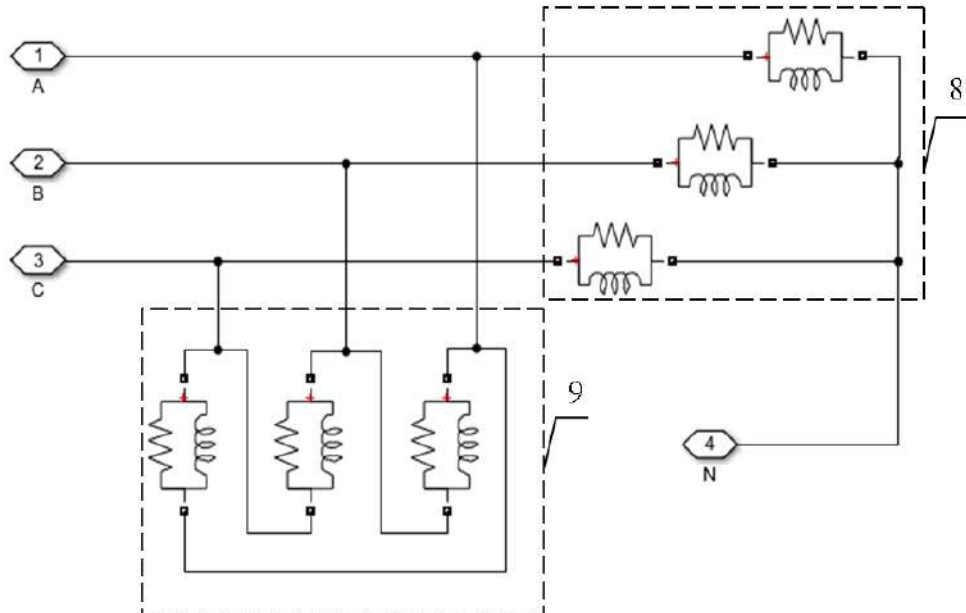


Рисунок 2 – Общий вид блока «Электрическая нагрузка»

На рисунке 2 представлены нагрузка (8), подключенная на фазное напряжение и нагрузка (9), подключенная на линейное напряжение.

В первую очередь при создании компьютерной модели электрической цепи определяются блоки с помощью которых моделируются те или иные элементы. Затем определяются параметры этих блоков.

Данные вопросы являются важными, поскольку от того насколько правильно мы применим готовые блоки и определим их параметры, будет зависеть адекватность компьютерной модели реальной сети. Рассмотрим подробнее моделирование основных элементов электрической сети.

Источник питания автономной системы электроснабжения моделируется с помощью стандартного блока «Three-Phase Source» из библиотеки SimPowerSystem. Этот блок моделирует трехфазный источник питания. При моделировании задаются следующие параметры: действующее междуфазное напряжение, начальная фаза напряжения (равная 0° для фазы А), частота сети, активное сопротивление источника, индуктивность источника.

Блок «Three-Phase Transformer Inductance Matrix Type (Two Windings)» моделирует работу трехфазного двухобмоточного трансформатора с различной конфигурацией обмоток и геометрией магнитопровода. Для этого блока задаются следующие параметры: номинальная мощность трансформатора, частота питающей сети, номинальное линейное напряжение первичной и вторичной обмоток.

Воздушная линия электропередач напряжением 380 В моделируется блоком «Three-Phase PI Section Line». Этому блоку соответствует трехфазная трехпроводная линия. При моделировании линии задаются следующие параметры: частота сети, удельные активное, индуктивное и емкостное сопротивления прямой и нулевой последовательностей, длина линии.

Четвертый провод моделируется блоком «PI Section Line». Этот блок соответствует однофазной линии электропередачи с сосредоточенными параметрами.

Адекватность компьютерной модели проверена по значению силы тока через тело человека. Результаты, полученные на компьютерной модели и при аналитическом расчете, имеют расхождение не более 4%, что позволяет считать компьютерную модель адекватной.

Заключение

Разработана компьютерная модель, позволяющая проводить исследования различных режимов работы четырехпроводной электрической сети напряжением 0,38 В с изолированной нейтралью при изменении её параметров. Предложенная компьютерная модель сети дает возможность

исследовать влияние следующих факторов при прикосновении человека к одной из фаз:

- влияние режима нейтрали сети на величину тока через тело человека;
- влияние параметров изоляции сети на величину тока через тело человека;
- влияние несимметрии на величину тока через тело человека;
- влияние сопротивлений пола и обуви на величину тока через тело человека;
- влияние сопротивления грунта на величину тока через тело человека.

Литература

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И.В.Черных. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.
2. Валеев Р.Г., Млоток А.В., Ершов А.М., Сидоров А.И. Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде MATLAB – SIMULINK // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2013. С. 116–128.
3. Хлопова А.В. Компьютерная модель для исследования режимов работы электрической сети напряжением 6–10/0,38 кВ / А.В. Хлопова, А.М. Ершов // Наука ЮУрГУ: материалы 68-й научной конференции. 2016. С. 799 – 805.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 кВ

Пирматов Н.Б., Абдуллабекова Д.Р.
(ТГТУ, МЭИ г.Ташкент) e-mail:abdullabekova_94@mail.ru

Аннотация: Статья представляет собой обзор передовых подходов и технологий, применяемых для обеспечения высокой надежности и эффективности силовых автотрансформаторов в энергетических системах напряжением 110 кВ. Она охватывает разнообразные методы контроля, начиная от использования дистанционных систем мониторинга для оперативного отслеживания параметров до химического и газового анализа изоляционного масла для раннего выявления потенциальных дефектов. Также подробно рассмотрены термографический мониторинг, электрические тесты, акустический мониторинг и вибрационный анализ, а также визуальные инспекции в рамках технических обследований.

Ключевые слова: силовой автотрансформатор, диагностика, анализ, мониторинг, трансформаторное масло.

METHODS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF POWER AUTOTRANSFORMERS WITH VOLTAGE 110 kV

Annotation: The article presents an overview of advanced approaches and technologies used to ensure high reliability and efficiency of power autotransformers in 110 kV power systems. It covers a variety of monitoring methods, ranging from the use of remote monitoring systems for on-line parameter tracking to chemical and gas analysis of insulating oil for early detection of potential defects. Thermographic monitoring, electrical tests, acoustic monitoring and vibration analysis, and visual inspections as part of technical surveys are also covered in detail.

Keywords: power autotransformer, diagnostics, analysis, monitoring, transformer oil.

Энергетическая инфраструктура, работающая на напряжении 110 кВ, требует особого внимания и тщательного контроля состояния силовых автотрансформаторов. Эти ключевые элементы электроэнергетической системы несут на себе время эффективного энергопередачи, и поэтому важно применять передовые методы контроля для обеспечения их бесперебойной работы.

1. Мониторинг электрических параметров:

• **Дистанционные системы мониторинга:** Современные технологии позволяют проводить мониторинг в реальном времени, собирая данные о

температуре, токе, напряжении и других ключевых параметрах. Это обеспечивает оперативное реагирование на изменения и предотвращает потенциальные сбои.

Наблюдения были сняты с силовых автотрансформаторов АТДЦТН 200 МВА на ПС Файзабод и АТДЦТН 125 МВА на ПС Юксак.

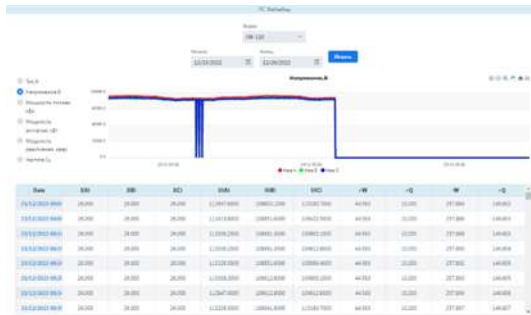


Рис.1. Диаграмма напряжения трёх фаз



Рис.2. Диаграмма реактивной мощности трёх фаз

Данные диаграммы были получены с помощью осциллографа Н-17.

Это нагрузочные данные обходного выключателя, взятые в течении суток, запись проводится с помощью счетчика.

Преимущества данного метода в том, что мы можем наблюдать дистанционно за изменениями по силе тока, напряжению, полной, активной и реактивной мощностей, а так же данные частоты. В данном случае данные хранятся 6 месяцев. Наблюдения ведутся на трех фазах А, В, С.

Недостатком данного метода является то, что нельзя получить данные по сработавшей защите.



Рис.3. Осциллограмма силы тока на трёх линиях автотрансформатора

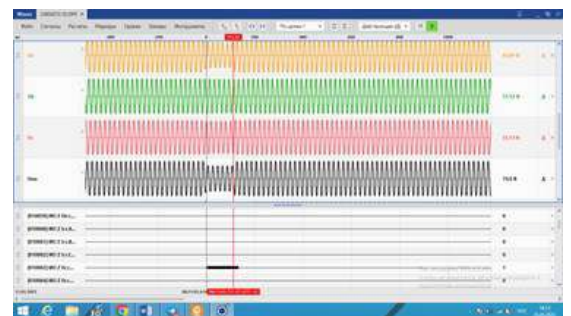


Рис.4. Осциллограмма напряжения на трёх линии автотрансформатора

Данный вид осциллограммы получают с помощью специальных панелей управления ЭКРА серии БЭ2704, которые устанавливают непосредственно в силовой автотрансформатор, данная панель включает в себя систему осциллографа.

Терминалы серии БЭ2704 – унифицированные микропроцессорные устройства для реализации функций релейной защиты и автоматики энергетических объектов напряжением от 110 до 750 кВ.

Преимущества данного метода в том, что можно получить данные по трём фазам линии и по трём фазам автотрансформатора одновременно, получаем данные по изменению силы тока и напряжению, и самым главным плюсом является то, что можно получить данные по сработанным защитам и время его срабатывания.

Недостаток данного метода - нельзя проводить наблюдение дистанционно.

2. Химический и газовый анализ масла:

Хроматография и спектральный анализ: Оценка состава изоляционного масла через хроматографический анализ и спектральную дифференциацию обеспечивает выявление продуктов разложения, предохраняя от серьезных дефектов и обеспечивая долгий срок службы трансформатора.

На таблице 1 предоставлен протокол трансформаторного масла, взятого с ПС “Юксак” с силового АТ. Причиной проверки масла капитальный ремонт, по произведенному физико-химическому анализу было выявлено следующее: цвет масла темно жёлтый (в норме темно желтого), пробивное напряжение >45 кВ (в норме 55 кВ), содержание углерода (в норме отсутствует), механических примесей (в норме отсутствует), содержание воды (в норме отсутствует), содержание водорастворимых кислот и щелочей- отсутствует (в норме отсутствует); температура вспышки в закрытом тигле 150 °С (в норме 135 °С), кислотное число содержание органических кислот 0,02 мг КОН на 1 г масла (в норме не более 0,01), тангенс угла диэлектрических потерь при 90 °С 2% (в норме 0,5). По полученным данным исследуемые параметры масла в пределах нормы- масло годное.

Таблица 1

Протокол физико-химического анализа годного масла

№	Наименование определения	Норма	Результаты испытаний
1	Цвет	Жёлтое	Темно жёлтого
2	Пробивное напряжение кВ	55	>45
3	Содержание взвешанного углерода	Отсутствует	Отсутствует

4	Содержание механических примесей	Отсутствует	Отсутствует
5	Содержание воды	Отсутствует	Отсутствует
6	Содержание водораст.кислот и щелочей	Отсутствие	Отсутствует
7	Температура вспшки в закрытом тигле	135°	150°
8	Кислотное число содержание органических кислот в мг КОН на 1г масла	0,01	0,02
9	Тангенс угла диэлектрических потерь при 90°С	0,5	2%
Заключение: Масло годное			

На табл.2 представлен протокол хроматографического анализа трансформаторного масла, которое соответствует техническим нормам. Забор масла был произведен с силового АТ с мощность 25000 кВа, который установлен на ПС «Озодлик» 17.03.2023, причина отбора-контроль, температура масла составляло 25 °С.

Таблица 2

№	Наименование газа	Результаты анализа %об.	Граничное значение %об.
1	Водород (H ₂)	0	0,01
2	Угарный газ (CO)	0	0,06
3	Метан (CH ₄)	0,00008	0,01
4	Углекислый газ (CO ₂)	0,02506	0,8
5	Этилен (C ₂ H ₄)	0,00075	0,01
6	Этан (C ₂ H ₆)	0,00009	0,005
7	Ацетилен (C ₂ H ₂)	0,00024	0,001

По произведенному ХАРГ анализу было сделано заключение, по которому масло соответствует техническим нормам.

3. Термографический мониторинг:

• **Инфракрасная термография:** Этот метод позволяет выявлять потенциальные проблемы, связанные с перегревом, не нарушая работу трансформатора. Он особенно полезен для выявления дефектов в электрических соединениях и обмотках.

На рис.5 и рис.6 изображены вводы силового автотрансформатора, представлена термограмма без дефекта, температуры в пределах нормы и составляет 41,7 °С допустимая температура АТ данного типа 75 °С.

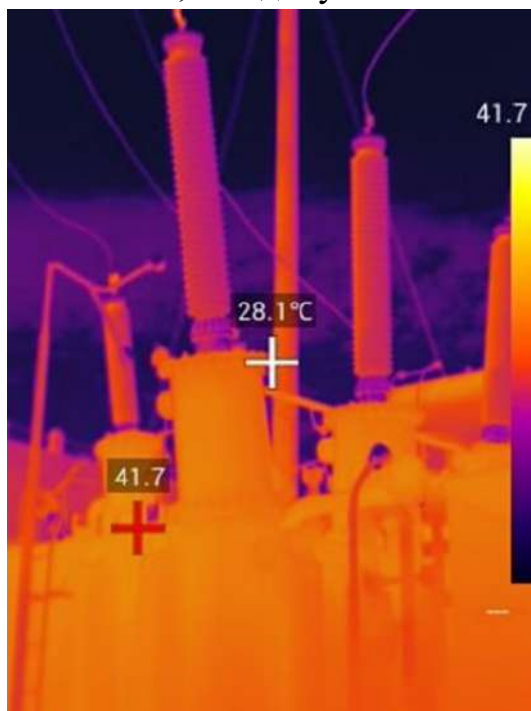


Рис.5. Термограмма вводов АТ



Рис.6. Внешний вид АТ

4. Электрические тесты:

• **Импульсные тесты и тесты изоляции:** Проведение тестов на электрическую прочность и изоляцию является неотъемлемой частью контроля. Они помогают выявить возможные дефекты и гарантируют эффективную работу трансформатора в условиях переменчивых нагрузок.

5. Акустический мониторинг и вибрационный анализ:

• **Мониторинг вибраций и акустический анализ:** Эти методы предоставляют информацию о состоянии механических частей трансформатора. Анализ вибраций помогает выявить механические неисправности, а акустический мониторинг может подсказать о возможных проблемах в изоляции.



Рис.7. Мониторинг вибраций и акустического анализа

6. Визуальные инспекции и регулярные технические обследования:

• **Технические осмотры:** Важными являются регулярные визуальные инспекции и технические обследования, в рамках которых осуществляется проверка общего состояния, выявление коррозии и износа, а также контроль герметичности.

Статья предоставляет обширный обзор современных методов контроля технического состояния силовых автотрансформаторов напряжением 110 кВ, подчеркивая их важность для поддержания надежности и долговечности в энергетических системах будущего. Использование комплексного подхода к контролю позволит обеспечить стабильное энергоснабжение и эффективное функционирование энергетической инфраструктуры.

Список литературы

1. Хлыстиков А.В., Игнатъев И.В. Проблемы надежности работы силовых трансформаторов. Братский государственный университет, г. Братск, Россия
2. Вилков С.А. Обзор современных способов диагностирования силовых трансформаторов и автотрансформаторов.
3. <http://leg.co.ua/transformatori/praktika/kontrol-sostoyaniyatransformatora.html>
4. Завидей В. И., Печенкин В. И., руководитель НИОКР ЗАО «Трансформер», к.т.н.ФГУП «ВЭИ», д.т.н. Возможности применения тепловизионного контроля для диагностики технического состояния силовых трансформаторов.

Сведения об авторах:

Пирматов Н.Б. – профессор кафедры «Электрические машины» ТГТУ, г.Ташкент, Узбекистан.

Абдуллабекова Д.Р. - старший преподаватель кафедры «Естественных, технических и социально-гуманитарных наук», МЭИ филиал г.Ташкент, Узбекистан.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВОЙНЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛЭП ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Крюков А. В., Овечкин И. С.

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск,
Российская Федерация

E-mail: and_kryukov@mail.ru, iliaov2015@mail.ru

Аннотация. Разработаны цифровые модели для определения режимов двойных замыканий на землю (ДЗЗ) в воздушных линиях 6-10 кВ, питающих объекты сигнализации, централизации и автоблокировки. Для создания моделей использовались методы мультифазного моделирования электроэнергетических систем. Модели обеспечивают корректный учет факторов, влияющих на режимы ДЗЗ, включая трехфазно-однофазную структуру рассматриваемой системы электроснабжения и повышенные электромагнитные влияния тяговой сети. В отличие от известных подходов осуществляется моделирование динамики изменений этих влияний, вызванных вариациями тяговых нагрузок при движении поездов.

Ключевые слова: двойные замыкания на землю, воздушные линии автоблокировки, моделирование.

MODELING OF DOUBLE FAILURES IN TECHNOLOGICAL POWER LINES OF RAILWAY TRANSPORT

Annotation: Digital models have been developed to determine double ground fault modes in 6-10 kV overhead lines supplying signaling, centralization and automatic blocking facilities. To create the models, methods of multiphase modeling of electrical power systems were used. The developed models provide correct accounting of factors influencing remote sensing modes, including the three-phase-single-phase structure of the power supply system under consideration and the increased electromagnetic influences of the traction network. In contrast to known approaches, the dynamics of changes in these influences caused by variations in traction loads during train movement is simulated.

Key words: double ground faults, automatic blocking overhead lines, modeling.

Вдоль трасс магистральных железных дорог расположены объекты сигнализации, централизации и автоблокировки, обеспечивающие безопасность движения поездов. Для их энергообеспечения сооружаются специальные линии электропередачи напряжением 6-10 кВ. Основное питание осуществляется от воздушных линий (ВЛ), смонтированных на отдельных опорах (ВЛ СЦБ). В процессе эксплуатации ВЛ СЦБ могут возникать режимы

двойных замыканий на землю (ДЗЗ) [1, 2], которые являются, как правило, результатом развития однофазных замыканий. Последние не относятся к категории аварийных и не отключаются релейной защитой.

Вопросам изучения ДЗЗ посвящен целый ряд работ. Так, например, в работах [3, 4] для решения задач локализации мест ДЗЗ предлагается применять фиксирующий орган сопротивления линии электропередачи. Анализ публикаций показывает, что несмотря на большое число работ, посвященных ДЗЗ, задачи моделирования таких режимов в линиях 6-10 кВ, работающих в составе систем электроснабжения железных дорог и расположенных в зонах повышенных электромагнитных влияний тяговых сетей, остаются нерешенными. В большинстве из работ по ДЗЗ используется метод симметричных составляющих, применение которого для моделирования сложных трехфазно-однофазных сетей с многократными продольно-поперечными несимметриями приводит к значительным методическим и алгоритмическим затруднениям. Наиболее эффективно преодолеть эти затруднения можно на основе использования фазных координат [5]. Ниже представлены результаты исследований, направленных на разработку цифровых моделей для определения режимов ДЗЗ в системах электроснабжения железных дорог.

Методика и результаты моделирования. Для моделирования режимов ДЗЗ использовались методы мультифазного представления электроэнергетических систем, предложенные в работе [5] и реализованные в программном комплексе (ПК) Fazonord. Расчеты режимов двойных замыканий на землю в ВЛ СЦБ осуществлялись для схемы СЭЖД, показанной на рис. 1.

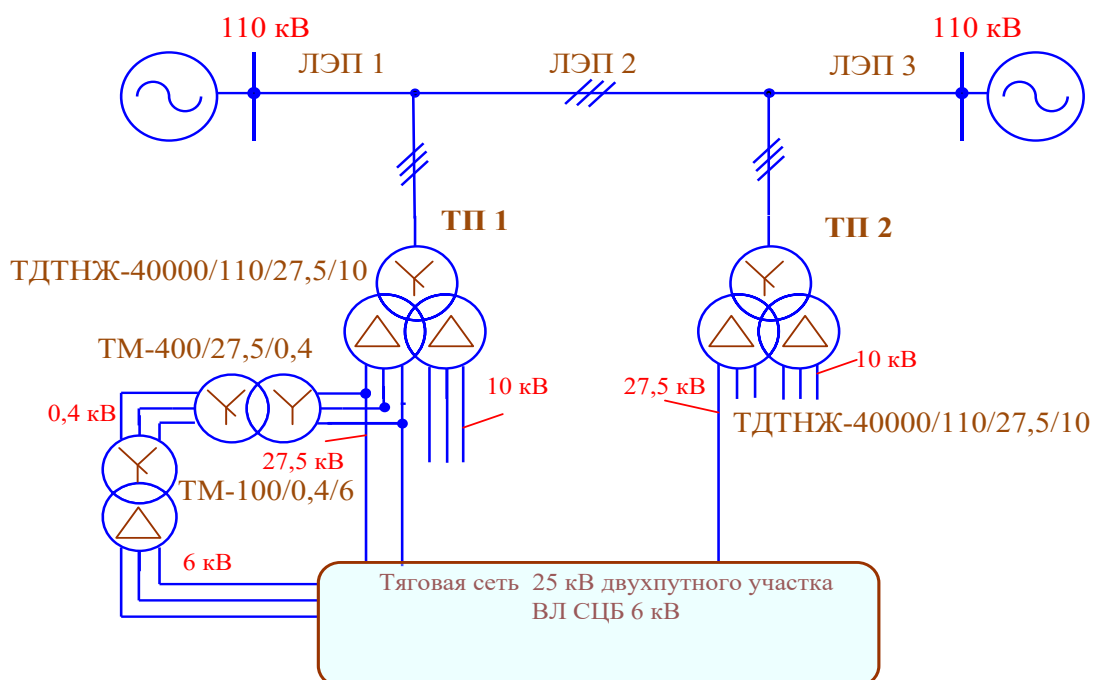


Рис. 1. Схема системы электроснабжения

В модели, реализованной в ПК Fazonord, были учтены следующие элементы сети: питающие ЛЭП 110 кВ; тяговые трансформаторы; участок тяговой сети (ТС) протяженностью 50 км, включающий контактные подвески, рельсовые нити и линию ВЛ СЦБ напряжением 6 кВ, которая была расположена параллельно трассе железной дороги и смонтирована на железобетонных опорах. Поперечное сечение многопроводной ТС показано на рис. 2. Тяговые нагрузки создавались движением двух поездов массой 3192 т в нечетном направлении и такого же числа составов массой 4192 т – в четном. При моделировании ДЗЗ учитывалось сопротивление самозаземления опор ВЛ СЦБ, принятое равным 15 Ом.

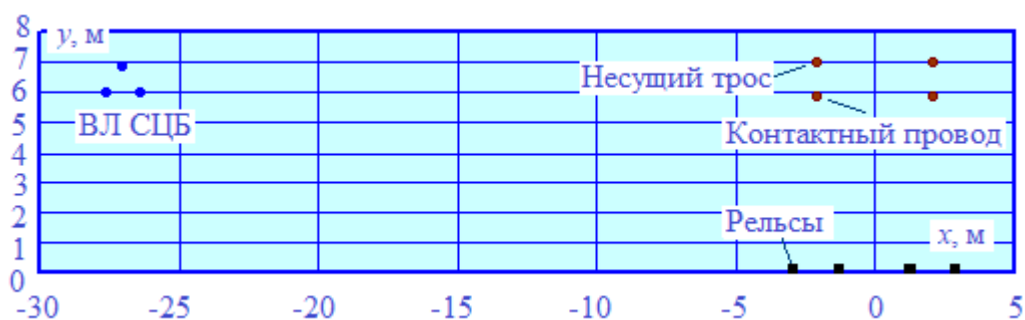


Рис. 3. Расположение токоведущих частей

Рассматривалось замыкание на землю фаз B и C . Для возможности варьирования мест ДЗЗ модель ТС, включающая линию ВЛ СЦБ, была разбита на участки протяженностью в десять километров. Координаты x точек замыкания на землю задавались в двух вариантах: в первом – величина x для фазы B принималась фиксированной и равной нулю, а для фазы C варьировалась в диапазоне 0...50 км с шагом в десять километров; во втором – значение x для фазы B принималось равным 50 км, а координата x для фазы C варьировалась в таком же диапазоне. На рис. 4, 5 представлены зависимости тока замыкания фазы C от координаты x при фиксированном замыкании фазы

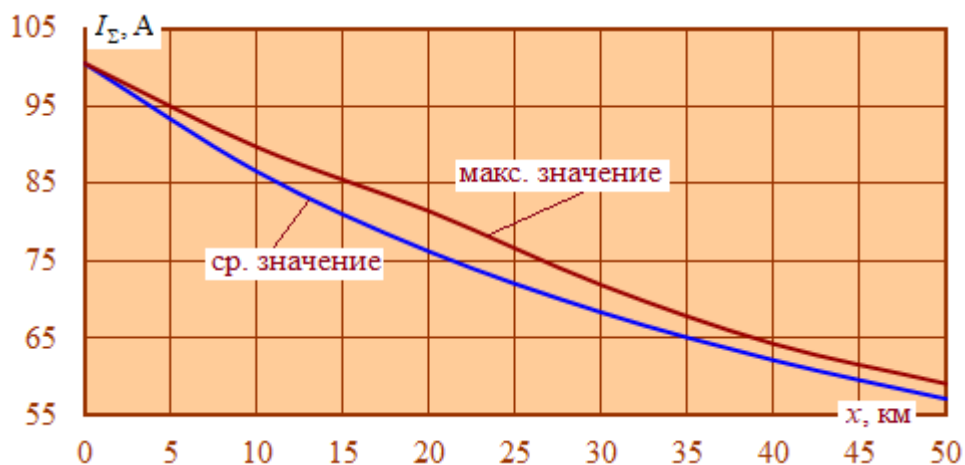


Рис. 4. Зависимости тока замыкания фазы C от координаты x при фиксированном замыкании фазы B в точке, отвечающей $x = 0$ км, в точках, отвечающих $x = 0$ км (рис. 4) и $x = 50$ км (рис. 5). Из этих рисунков видно, что с увеличением расстояния между точками замыканий токи уменьшаются.

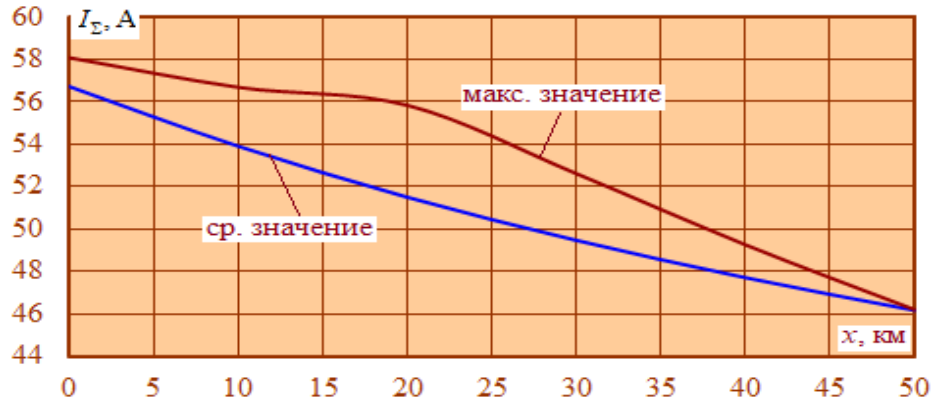
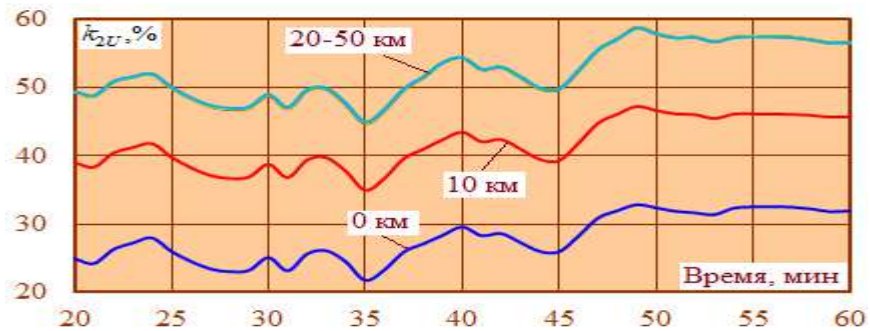


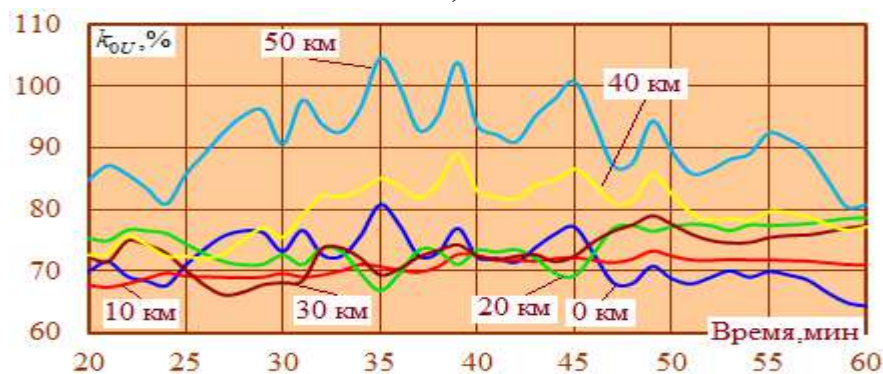
Рис. 5. Зависимости тока фазы C от координаты x при фиксированном замыкании фазы B в точке, отвечающей $x = 50$ км

Зависимость максимальных значений тока от координаты x для первого варианта расчетов близка к линейной. Аналогичным свойством обладает зависимость средних значений от x для второго варианта.

На рис. 6 показана динамика изменений коэффициентов несимметрии по обратной и нулевой последовательностям. Кривые соответствуют замыканию фазы B в точке с координатой $x = 10$ км и фазы C в точке $x = 20$ км.



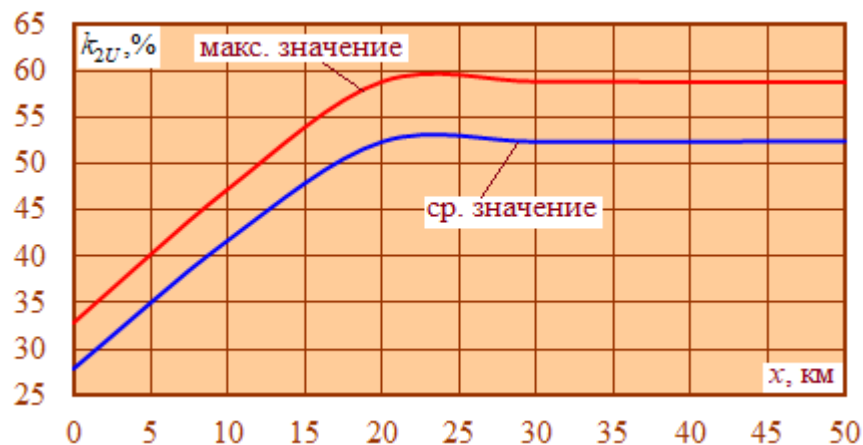
а)



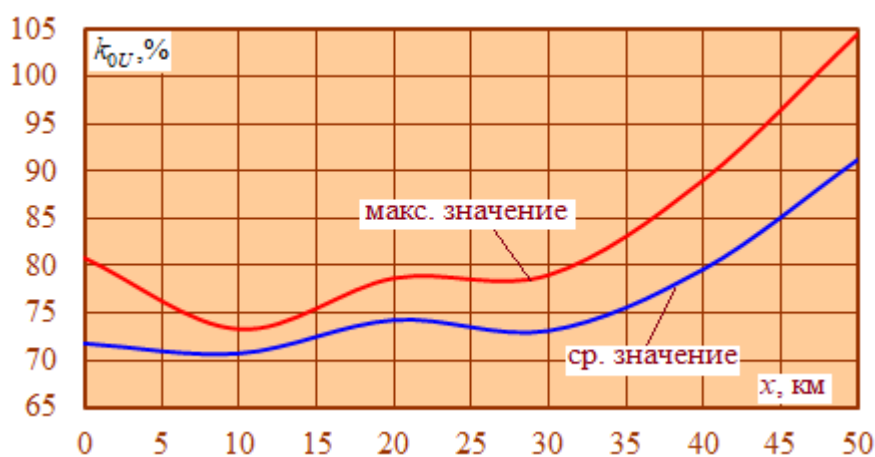
б)

Рис. 6. Зависимости коэффициентов несимметрии напряжения по обратной (а) и нулевой (б) последовательностям от времени

На рис. 7 представлены зависимости коэффициентов несимметрии от координаты x .



а)



б)

Рис. 13. Зависимости коэффициентов несимметрии напряжения по обратной (а) и нулевой (б) последовательностям от координаты x при фиксированном замыкании фазы B в точке, отвечающей $x = 10$ км, а фазы C – в точке $x = 20$ км.

Представленные на рис. 12, 13 графики показывают, что в режимах ДЗЗ возникают существенные уровни несимметрии, особенно по нулевой последовательности.

Заключение

По результатам работы разработаны цифровые модели, с помощью которых можно определить режимы двойных замыканий на землю в системах электроснабжения железных дорог. Эти модели учитывают все основные факторы, влияющие на режимы ДЗЗ, включая структуру электроснабжения с

трехфазно-однофазной конфигурацией и повышенное электромагнитное влияние (ЭМВ) тяговой сети. В отличие от существующих подходов, данные модели также учитывают динамические вариации ЭМВ, вызванные изменением тяговой нагрузки при движении поездов. Этот подход к моделированию режимов ДЗЗ является универсальным и применим для типовых систем тягового электроснабжения, а также для перспективных ТС повышенного напряжения. Полученные результаты могут быть использованы на практике для настройки устройств релейной защиты высоковольтных линий электропередачи с целью надежного обнаружения режимов двойных замыканий на землю и принятия мер по их предотвращению. Представленная методика также может применяться при выборе мероприятий по повышению надежности электроснабжения объектов СЦБ, обеспечивающих безопасность движения поездов, а также для разработки методов и алгоритмов определения расстояний до мест ДЗЗ.

Литература

1. Спиричев М. А., Попов Н. М., Олин Д. М. О необходимости отключать двойные замыкания на землю без выдержки времени // Вестник КрасГАУ. № 4 (139). 2018. С. 133-137.
2. Олин Д. М., Спиричев М. А. Устройства для защиты воздушных линий 6-35 кВ от двойных замыканий на землю // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе. Караваево, 2017. С. 233-238.
3. Хакимзянов Э. Ф., Мустафин Р. Г., Федотов А. И. Определение расстояний до мест двойных замыканий на землю на линии электропередачи распределительной сети среднего напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. № 3-4. 2015. С. 132-137.
4. Mariya Ubaseva, Vladimir Petrov, Vladislav Antonov. The Novel Method for Determining Locations of a Double Ground Fault in Networks with Isolated Neutral. 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). 2020. Publisher: IEEE.
5. Закарюкин В. П., Крюков А. В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. 273 с.

Сведения об авторах

Крюков А. В. – доктор технических наук, профессор Иркутского государственного университета путей сообщения; профессор Иркутского национального исследовательского технического университета.

Овечкин И. С. – аспирант кафедры электроэнергетики транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения.

РАСЧЁТ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ MATLAB SIMULINK

Бейтуллаева Р.Х., Нурова М. А.

Каршинский инженерно-экономический институт, гКаршии, Узбекистан

***Аннотация.** В этой статье рассмотрен электрический расчёт линий электропередач 220 кВ, протяжённостью 40 км и частотой 50 Гц. С помощью программы Matlab (Simulink) создана модель электрической сети и рассчитаны сопротивление и потери напряжения линии.*

***Ключевые слова:** пассивные и активные электротехнические элементы, пакета Simulink, электрические машины, расчёт электрических сетей.*

CALCULATION OF POWER LINES IN MATLAB SIMULINK SOFTWARE

***Annotation.** This article discusses the electrical calculation of 220 kV power lines, 40 km long and 50 Hz frequency. Using the Matlab (Simulink) program, a model of the electrical network was created and the resistance and voltage losses along the line were calculated.*

***Keywords:** passive and active electrical elements, Simulink packages, electric machines, calculation of electrical networks.*

Simulink – среда динамического междисциплинарного моделирования сложных технических систем и основной инструмент для модельно-ориентированного проектирования. Его основным интерфейсом является графический инструмент для построения диаграмм и настраиваемый набор библиотек блоков. В нем можно создать тесную интеграцию с остальной средой MATLAB и может либо использовать MATLAB, либо создавать сценарии из него.

Библиотека SimPowerSystems программы Матлаб является дополнительной библиотекой пакета Simulink для моделирования конкретных устройств. В состав библиотеки входят модели пассивных и активных электротехнических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, линий электропередачи и другого оборудования. Имеется также раздел, содержащий блоки для моделирования устройств силовой электроники, включая системы управления для них. Используя специальные возможности Simulink и SimPowerSystems можно выполнять следующие операции:

- Имитация работы установок
- Расчет режимов систем
- Расчёт (полного сопротивления) импеданс участка цепи

- Получение частотных характеристик
- Исследование устойчивости
- Исследование гармоник тока и напряжений

Кроме этого можно использовать моделирование сложных электротехнических систем. Библиотека SimPowerSystems состоит из семи разделов:

- *Electrical Sources* -источники электричество энергии;
- *Connectors* - соединители;
- *Measurements* - приборы измерения и контроля;
- *Elements*-электротехнические элементы;
- *Power Electronics* -установки силовой электроники;
- *Machines*-электрические машины;
- *Powerlib Extras*-специальные электротехнические установки.

Применяя выше указанные блоки за маленький промежуток времени можно создать полноценную модель сложной электротехнической системы и исследовать режимы работы модели.[2]

При расчёте электрических сетей мы сталкиваемся с некоторыми сложностями, такие как решение сложных систем линейных уравнений, решение комплексными числами, процесс длительности расчётов.[1]

$$Z = (0.15 + j \times 2 \times f + 1.3263 \times 10^{-3}) \times 40$$
$$Z = (6 + j20)\Omega$$

Полная мощность линии составляет:

$$S_{(3\phi)} = 381 \text{ МВА}$$

Рассчитываем активную и реактивную мощность.

$$S_{R(3\phi)} = 381 \text{ МВА} \angle \cos^{-1}(0.8) = 381 \times (\cos(36.87) + j \sin(36.87))$$

$$S_{R(3\phi)} = (304.8 \text{ МВт} + j228.6 \text{ МВАр})$$

$$P_{R(3\phi)} = 304.8 \text{ МВт}$$

$$Q_{R(3\phi)} = j228.6 \text{ МВАр}$$

Определяем ток и напряжение на линии:

$$U_R = 220 \text{ кВ}$$

Напряжение на каждой фазе:

$$U_R = 220/\sqrt{3} = 127 \text{ кВ}$$

Определяем ток на каждой фазе:

$$I_R = \frac{S_{R(\phi)}^*}{3 \times U_R} = \frac{381 \times 10^6 \angle -36.87^\circ}{3 \times 127 \times 10^3} = \frac{381 \times 10^3 \angle -36.87^\circ}{3 \times 127} = 1000 \angle -36.87^\circ \text{ А}$$

Определяем напряжение на фазах и на линии

$$U_S = U_S + I_R \times Z = 127 \angle 0^\circ \text{ кВ} + (1000 \angle -36.87^\circ) \times (6 + j20)$$

$$U_S = 127000 \angle 0^\circ \text{В} + (1000 \times (\cos(36.87^\circ) + j \sin(-36.87^\circ)) \times (6 + j20))$$

Чтобы упростить этот процесс мы рассмотрели расчёт параметров электрической сети в Matlab (Simulink) и смоделировали электрические сети с помощью блока PowerGui.

Для примере расчёта была принята линия электропередач напряжением 22 кВ, 50 Гц протяжённостью 40 км, требуется определить напряжение и мощность.

Активное сопротивление для одного км. линии составляем:

$$R = 0.15 \Omega$$

Активное сопротивление для 40 км линии составило:

$$R = 0.15 \times 40 \Omega = 6 \Omega$$

Индуктивное сопротивление для 1 км линии:

$$L = 1.3263 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Индуктивное сопротивление для 40 км линии составило:

$$L = 1.3263 \cdot 10^{-3} \times 40 = 0.053052 \text{ Гн}$$

Полное сопротивление линии для 40 км:

$$Z = (r + \omega \times L) \times l$$

$$U_S = 144.33 \angle 4.93^\circ \text{кВ}$$

Определяем напряжение на линии:

$$U_{S(L)} = \sqrt{3} \times U_{S(\Phi)} = \sqrt{3} \times 144.33 \angle 4.93^\circ \text{кВ} = 250 \text{ кВ}$$

Определяем ток на линии:

$$I_S = I_R = 1000 \angle -36.87^\circ \text{ А}$$

На линии передаваемый ток равен текущему току.

Определение передаваемой полной активной и реактивной мощности:

$$S_S = 3 \times U_{S(\Phi)} \times I_S^* = 3 \times 144.33 \times 10^3 \angle 4.93^\circ \times 1000 \angle 36.87^\circ$$

$$S_S = 322.8 \text{ МВт} + j288.6 \text{ МВАр} = 433 \angle 41.8^\circ \text{ МВА}$$

$$P_{S(3-\Phi)} = 322.8 \text{ МВт}$$

$$Q_{S(3-\Phi)} = 288.6 \text{ МВАр}$$

$$S_{S(3-\Phi)} = 433 \angle 41.8^\circ \text{ МВА}$$

Определение потери напряжения:

$$\%U_{\Pi} = \frac{U_S - U_R}{U_R} \times 100 = \frac{250 - 220}{220} \times 100 = 13.6 \%$$

Определение эффективности линии электропередача:

$$\eta = \frac{P_{R(3-\Phi)}}{P_{S(3-\Phi)}} \times 100 = \frac{304.8}{322.8} \times 100 = 94.4 \%$$

Исходя из выше приведённых расчётов создана имитационная схема линии электропередач с помощью блока SimPowerSystems в программе Matlab Simulink

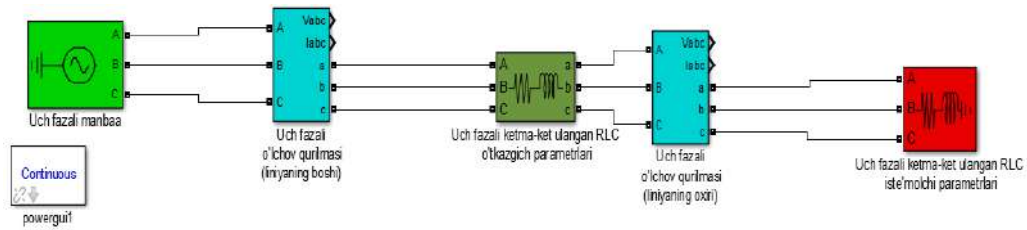


Рис.-1. Модель электрической линии электропередач в программе Matlab (Simulink)

В модели созданной при помощи блоков SimPowerSystems и других блоков библиотек пакета Simulink, также можно применять функции Matlab в результате можно получить безграничные возможности моделирования. Библиотека SimPowerSystems очень большая. Но несмотря на это если в библиотеки не найдётся нужный блок то пользователь может сам создать его. Тогда основываясь на блоки которые существуют в библиотеке можно использовать возможности создания систем Simulink или в основных блоках библиотеки Simulink можно использовать управляемые источники тока и напряжения. Поэтому SimPowerSystems в составе Simulink является самым лучшим средством для моделирования электротехнических установок и систем.[2].

Созданную имитационную схему усовершенствуем с помощью дополнительных блоков и получим следующие результаты:

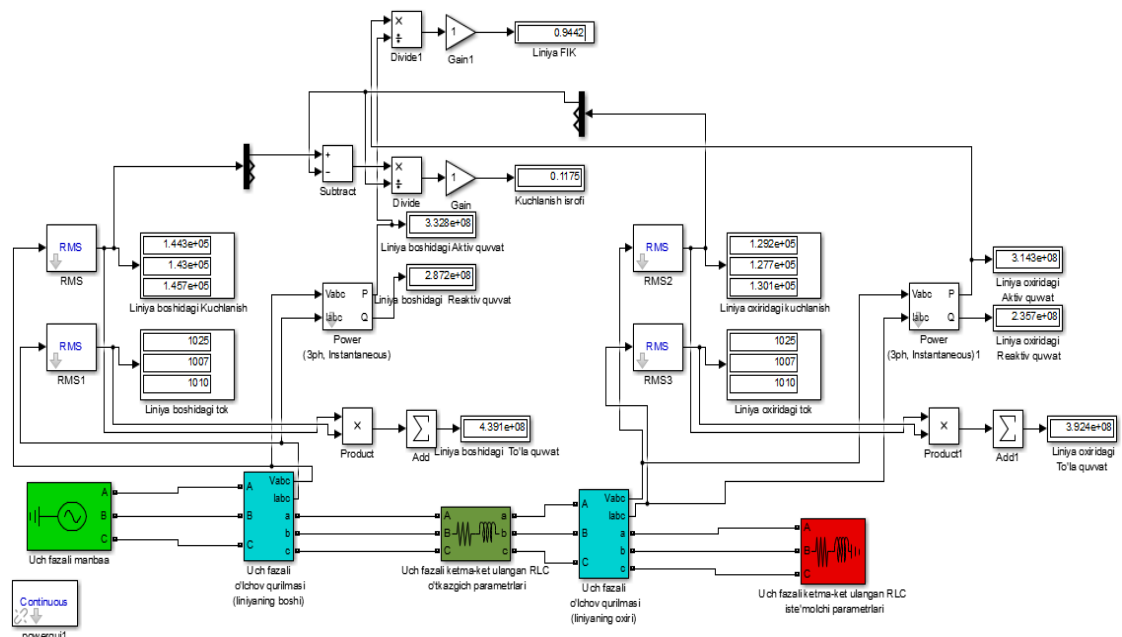


Рис.-2. Расчетные результаты программы Matlab (Simulink)

Заключение

В ходе данной работы была рассчитана электрическая сеть с помощью уравнений и разработана модель в Simulink. В результате сравнения значений полученных в Matlab (Simulink) и рассчитанными данными выявлено что расхождение результатов пренебрежимо мало.

Преимуществом пакета Simulink является простой способ использования и позволяет наглядно видеть результаты.

Литература

1. Чёрных И.В. Моделирование электрических устройств в Matlab, SimPowerSystems и симулинк, 2008 -изд. Питер-288 с.
2. Дадажонов Т. MATLAB асослари, Дарслик -598 бет, Фарғона -Техника нашриёти, 2008 й.
- И.Черных. Simulink: среда создания инженерных приложений. Диалог-МИФИ. 2003.

Авторы

1. **Бейтуллаева Румия Хамидуллаевна** доцент Каршинский инженерно-экономический институт. Тел: +998 97 315 06 25
2. **Нурова Малика Абдузаировна** ассистент Каршинский инженерно-экономический институт. Тел: +998 88 018 22 28

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕМКОСТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Морозов Е.А.

Научный руководитель Востриков М.В.

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал
федерального государственного образовательного учреждения высшего
образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИрГУПС), г. Чита, Россия*

E-mail: aspirin1979@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы оценки уровня электроэнергии, затрачиваемой на собственные нужды тяговых подстанций ввиду эксплуатации устаревшего энергоемкого оборудования. Проблема является актуальной, ввиду организации повсеместного вождения поездов повышенной массы и длины. Тяговые трансформаторы работают параллельно, уровень потребляемых токов поездами повышенной массы достигает 1 кА и более. При таких режимах работы наблюдается повышенная степень старения (износа) изоляции обмоток, что негативно сказывается на сроке безремонтной службы трансформатора. Дополнительную загрузку обеспечивают собственные нужды (освещение, отопление, привода выключателей и т.д.). Проведен анализ ряда способов возможного снижения мощности, затрачиваемой на собственные нужды путем использования нетрадиционных источников электроэнергии, резонансных способов передачи электроэнергии и высокоэффективного импульсного источника электропитания. Особое внимание уделено возможности использования емкостных трансформаторов для решения данной задачи.*

***Ключевые слова:** емкостной трансформатор, энергосбережение, энергетическая эффективность, высоковольтные провода, собственные нужды, тяговая подстанция.*

REDUCING ELECTRICITY CONSUMPTION FOR OWN NEEDS OF A TRACTION SUBSTATION DUE TO THE USE OF CAPACITIVE TRANSFORMERS

***Annotation.** The article considers the issues of estimating the level of electricity expended for own needs of traction substations in view of the use of obsolete energy-intensive equipment. The problem is urgent, in view of the organization of ubiquitous driving of trains of increased mass and length. Traction*

transformers operate in parallel, the level of consumed currents by trains of increased mass reaches 1 kA or more. Under these operating conditions, an increased degree of aging (wear) of the winding insulation is observed, which adversely affects the dead-end service life of the transformer. Additional loading is provided by own needs (lighting, heating, drive of switches, etc.). The analysis of a number of ways of possible reduction of the power spent for own needs by use of nonconventional sources of the electric power, resonant ways of transmission of the electric power and highly effective impulse power supply source is carried out. Particular attention is paid to the possibility of using capacitive transformers to solve this problem.

Keywords: *capacitive transformer, energy saving, energy efficiency, high-voltage wires, own ones, traction substation.*

Согласно Распоряжению ОАО «РЖД» № 1704р от 28.08.12 г. [1] в части п.2.2 установлены требования к устройствам электроснабжения, предъявляемые для пропуска ПМД (поезда повышенной массы и (или) длины), обязующие включение в параллельную работу всех силовых трансформаторов установленных на подстанциях и, при необходимости, ввод в действие устройств для повышения и стабилизации напряжения (РПН).

Анализ режимов работы и срока фактической эксплуатации тяговых трансформаторов Забайкальской железной дороги (ЗабЖД) свидетельствует о выработке их ресурса на 60-80 %, кроме этого, на части тяговых подстанций продолжается эксплуатация морально и физически устаревших масляных высоковольтных выключателей марок У-220-2000-25 и С-220- 2000-25.

Большую часть расхода электроэнергии на собственные нужды, особенно в холодное время года, приходится на подогрев приводов энергоемкого оборудования, отопление здания, наружное и внутреннее освещение, а в теплое время - на работу электродвигателей системы охлаждения трансформаторов. В среднем на собственные нужды опорной тяговой подстанции напряжением 220 кВ приходится 2-3 %, а иногда и до 4 %, то есть мощность потребления может достигать 1600 кВА, тогда как для промежуточных тяговых подстанций того же класса напряжения эта цифра колеблется в диапазоне 400-800 кВА.

По многолетним данным Гидрометцентра России безморозный период в Забайкальском крае составляет 95-140 дней в году, следовательно, вопрос о снижении расхода электроэнергии на собственные нужды остается актуальным.

Поскольку реконструкция (модернизация) тяговых подстанций в части замены силовых трансформаторов, высоковольтного коммутационного и защитного оборудования требует единовременного колоссального

финансирования, процесс этот, по понятным причинам, растягивается во времени.

Принципы энергосбережения и повышения энергетической эффективности (ФЗ № 261) включают в себя следующие направления:

1) эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов;

2) поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

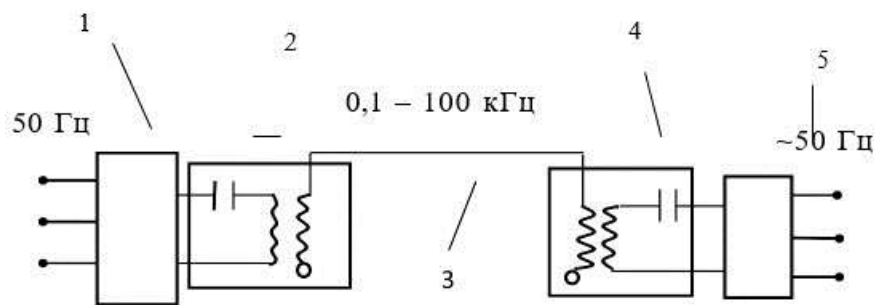
3) системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;

4) планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

5) использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

Ранее уже рассматривались способы снижения расхода электроэнергии на собственные нужды подстанции за счет использования нетрадиционных источников электроэнергии [2, 3]. Но этот способ позволяет лишь частично решить проблему.

Еще одним из способов может являться резонансная система передачи электрической энергии [4]. В основу работы этой системы положены волновые свойства высокочастотного переменного тока и особенности работы систем с распределенными параметрами (рис.1.).



1- частотный преобразователь; 2, 4 – резонансные высокочастотные трансформаторы; 3 – однопроводниковая высоковольтная линия;
5 - инвертор

Рис.1. Принципиальная схема однопроводной резонансной системы электроснабжения

К недостаткам данной системы можно отнести высокую стоимость оборудования, сложность его изготовления, а также длительность настройки рабочих параметров.

Еще одним из вариантов потенциального решения проблемы может служить высокоэффективный импульсный источник электропитания, схема замещения (рис.2), а принцип работы основан на квадратичном способе накопления энергии [5].

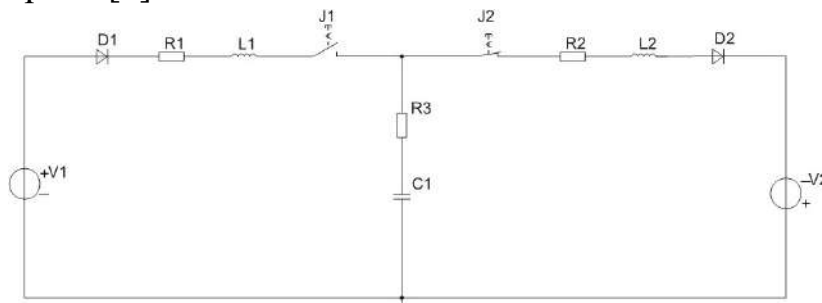


Рис.2. Схема замещения высокоэффективного источника питания

Все вышеперечисленные способы находятся в стадии завершения экспериментальных испытаний опытных образцов и могут рассматриваться как альтернативные лишь после прохождения специализированных экспертиз и начала промышленного производства необходимых комплектующих.

Одним из перспективных направлений решения данной задачи, по мнению автора - это возможность применения емкостных трансформаторов. К примеру, если использовать трансформатор Миславского (рис.3), поместив его в рассечку высоковольтного провода, можно получить электроэнергию нужного класса напряжения, которая может расходоваться на собственные нужды, а работа цепи не будет нарушена за счет действия токов смещения. Однако эффективность такого способа съема электроэнергии будет невысока, из-за низкой рабочей частоты (50 Гц), тогда как наибольшую эффективность такие трансформаторы показывают на более высоких частотах.

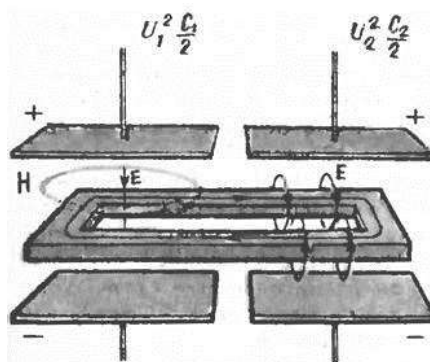
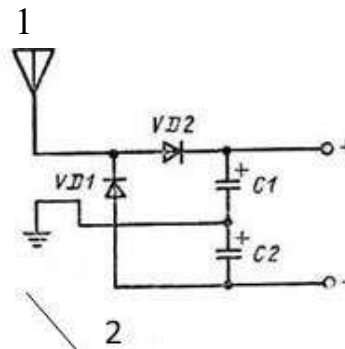


Рис.3. Принципиальная схема возможного использования трансформатора Миславского

В настоящее время проводится исследование, основанное на видоизменении способа (рис.4), изложенного в патенте № 685,957 от 5 ноября 1901 года (разработка установки для преобразования радиантной солнечной

энергии в электрическую), используя для преобразования электромагнитное поле вокруг проводов высоковольтных вводов тяговых подстанций (рис.5). Такая конструкция тоже является разновидностью емкостного трансформатора.



1 –приемник, 2-контур заземления

Рис.4. Принципиальная схема установки преобразования радиантной энергии в электрическую

По предварительным расчетам, используя такой метод, можно получить бесконтактный съем мощности 1,5 - 4 кВА, которую можно использовать для обогрева здания подстанции, а также на внутреннее и (или) наружное освещение территории подстанции и т.д.

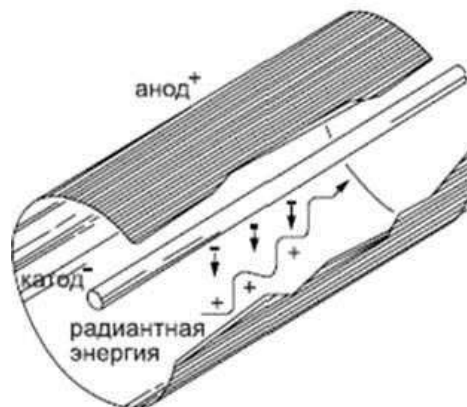


Рис.5. Принципиальная схема преобразования электромагнитного поля в электроэнергию

Заключение

Таким образом, использование емкостных трансформаторов на тяговых подстанциях поможет решить целый комплекс проблем, а именно:

- уменьшить общую нагрузку тяговых трансформаторов, снизив тем самым интенсивность старения их изоляции и продлив их срок службы;
- перевести питание части нагрузок собственных нужд на независимый от режимов работы тягового трансформатора источник, упростив тем самым электрическую схему присоединения;
- убрать двойную трансформацию, уменьшив тем самым потери

электроэнергии.

Литература

1. Морозов, В.Н. Инструкция по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных участках ОАО «РЖД» / В.Н. Морозов. - М.: ОАО «РЖД», 2012. - 56 с.

2. Хохлова, М.И. Возможность использования нетрадиционных источников электроэнергии в тяговом электроснабжении при повышении масс перевозимых грузов / М.И. Хохлова, М.В. Востриков // Проблемы транспорта Восточной Сибири, 2014. Т 2. С. 30-33.

3. Медведская, М. О. Выбор возобновляемых источников энергии для систем тягового электроснабжения / М. О. Медведская, О. А. Степанская // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: Сборник трудов LXXXII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в двух томах, Санкт-Петербург, 18–25 апреля 2022 года / ответственные за выпуск О.В. Гимазетдинова, М.С. Панова. Том 1. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. – С. 146-149.

4. Стребков, Д.С. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии / Д.С. Стребков, А.И. Некрасов. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. - 352 с.

5. Менакер, К.В. Создание высокоэффективных импульсных источников электропитания на основе квадратичного способа накопления энергии / К.В. Менакер, М.В. Востриков, А.С. Цветаева // Силовая электроника. 2016. №1. С. 38-42.

Сведения об авторах:

Востриков М.В. – старший преподаватель кафедры «ЭлС» ЗаБИЖТ ИрГУПС.

Морозов Е.А. - студент 5-го курса, группы СОД.1-19-1 кафедры «ЭлС», ЗаБИЖТ ИрГУПС.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ВЫСШИМ ГАРМОНИКАМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РЕГИОНЕ

Неугодников П.Е., Суворов И.Ф., Рыбакова И.Ю.

ФГБОУ ВО «ЗабГУ», г. Чита

E-mail: pasha-neugodnikov@mail.ru, ivan.suvorov.1947@mail.ru

***Аннотация:** В данной статье раскрываются вопросы оценки и контроля качества электроэнергии при ее передаче и распределении с учётом высших гармоник в сетях до 1000 В и 6-10кВ.*

***Ключевые слова:** электроэнергия, высшие гармоники, нелинейные характеристики, несинусоидальный ток.*

ON THE ISSUE OF APPLYING STATISTICAL DATA ON HIGHER HARMONICS FOR OPTIMIZING ELECTRICITY LOSSES OF POWER SUPPLY SYSTEMS IN THE REGION

***Annotation:** This article discusses the issues of assessing and controlling the quality of electricity during its transmission and distribution, taking into account higher harmonics in networks up to 1000 V and 6-10 kV.*

***Keywords:** electric power, higher harmonics, nonlinear characteristics, non-sinusoidal current.*

Наличие электрических связей между энергосистемами значительно расширяет зону отрицательного влияния качества электроэнергии на надежность работы энергосистем и надежность обеспечения потребителей электроэнергией. Появилась необходимость оценивать и контролировать качество электроэнергии не только в данной точке присоединения потребителя или энергоснабжающей организации, но и различных удаленных узловых точках электрической сети.

В условиях эксплуатации актуален вопрос достоверности понимания режимов работы электрических сетей с пониженным качеством электроэнергии. Известно, что наиболее серьезные негативные последствия, в первую очередь ухудшение режимов работы распределительных сетей и сетей электроснабжения электротехнических комплексов, сопровождаются работой многофазных систем в несинусоидальном и несимметричном режимах.

Развитие теории несинусоидальных режимов, связанных с высшими гармониками, началось в 20-х годах прошлого века, с момента открытия первых искажений напряжения в электрических сетях. Расчет режимов в таких случаях основан на математической теории рядов Фурье. В начале развития теории

режимов на высших гармониках, уровни напряжения рассчитывались так же, как и на основной частоте: в соответствии с заданными исходными данными определяли модуль и фазу напряжения высших гармоник. Впоследствии, принимая во внимание случайный характер взаимодействия гармоник от нескольких источников, был применен вероятностный подход при расчете уровней напряжения высших гармоник [1, с.18].

Высшие гармоники всегда появляются, когда есть нелинейные элементы. В случаях, когда мощность нелинейных потребителей электроэнергии не превышает 10-15%, при работе системы электроснабжения практически не возникает никаких сбоев. Если указанный интервал превышен, появляются различные проблемы в эксплуатации [2, с.19]. Известно, что нелинейными элементами в электрических системах являются в первую очередь трансформаторы и электрические машины.

Токи высших гармоник, проходя через элементы системы электроснабжения, способствуют возникновению дополнительных потерь электроэнергии и активной мощности. В трансформаторах, генераторах и двигателях происходят наибольшие дополнительные потери как активной, так и реактивной мощности [3]. В некоторых случаях эти потери могут привести к перегреву обмоток электрических машин, но во всех случаях приводят к дополнительным потерям электрической энергии.

Наиболее эффективными средствами борьбы с высшими гармониками являются: симметрирующие устройства и активные фильтры гармоник. Но такие меры не всегда экономичны, поэтому необходимо искать оптимальное соотношение между стоимостью устройства и потерями, вызванными наличием высших гармоник в сетях электроснабжения.

Данная тематика является актуальной, так как в настоящее время расчет технологических потерь электроэнергии в электрических сетях производятся по методикам Минэнерго РФ от 30.12.2008 г. №326 [4]. Но данные методики не предназначены для режимов, где токи и напряжения несинусоидальные.

В электроэнергетике наблюдается рост потребления электроэнергии и одновременно возрастание её расхода на транспортировку и распределение. Вопрос по увеличению энергетической эффективности и снижению потерь электроэнергии был и остаётся важнейшим в данной сфере. Одной из важнейших причин увеличения потерь является постоянный рост числа потребителей с нелинейными характеристиками, потребляющих несинусоидальный ток, содержащий кроме основной гармоники, частотой 50 Гц, высшие гармоники, с частотами, превышающими основную частоту. К потребителям с нелинейными характеристиками относятся: металлургия,

сварочные машины, трансформаторные подстанции электрифицированных железных дорог, бытовые электроприборы и т.д.

Несинусоидальные токи снижают качество электроэнергии и вызывают добавочные потери мощности, которые ведут к увеличению финансовых убытков энергосбытовых и сетевых компаний, к сбою рабочих режимов генераторов электрических станций.

Актуальность изучения влияния несинусоидальности токов и напряжений обусловлена слабо развитой структурой электрических сетей, особенно ярко это выражено в Забайкальском крае, повышением установленной мощности электроприемников с нелинейным характером нагрузок (повышение тяжеловесности пропуска железнодорожных составов с использованием электрической тяги на переменном напряжении).

Для дальнейшего изучения данной проблемы необходимо чётко выделить объект, предмет, цель и задачи исследования.

Объект исследования: системы электроснабжения Забайкальского края до 1000 В и 6-10 кВ.

Предмет исследования: методы оптимизации потерь электроэнергии систем электроснабжения с учётом высших гармоник напряжения и тока.

Цель работы: повышение уровня эксплуатации систем электроснабжения и уменьшение убытков компаний из-за потерь электроэнергии за счёт оптимизации их с учётом высших гармоник напряжения и тока.

Задачи исследования:

1. Провести сбор статистических данных по высшим гармоникам напряжения и тока систем электроснабжения до 1000 В и 6-10 кВ по Забайкальскому краю.

2. Установить законы распределения гармоник на основе обработки статистических данных, полученных при обработке показателей качества электрической энергии.

3. Создать методику расчета и оптимизации потерь в электрических сетях с учетом высших гармоник напряжения и тока, которая поможет исключить финансовые убытки энергосбытовых и сетевых компаний как на этапе проектирования и прогнозирования потерь при составлении баланса мощностей в электрических сетях, так и при эксплуатации систем электроснабжения электротехнических комплексов.

Заключение

Таким образом, создание методики расчета и оптимизации потерь электроэнергии систем электроснабжения до 1000 В и 6-10 кВ в регионе с

учетом высших гармоник напряжения и тока путём установления законов распределения гармоник на основе обработки статистических данных, полученных при обработке показателей качества электрической энергии и получение наиболее вероятной длительности протекания каждой гармоники будет являться научной новизной работы, так как исследования такого рода в сетях до 1000 В и 6-10 кВ еще не проводились.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №123102000012-2 «Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива, соглашение №075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г.»)

Литература

1. Курбацкий В. Г. Качество электроэнергии электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях: Учебное пособие. – Братск: БрГТУ, 1999. -220 с.

2. Управление качеством электроэнергии: Сборник трудов Международной научно-практической конференции (Москва- 26-28 ноября 2014 г.) - Москва: «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2014. - 380 с: ил.

3. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов.- Москва.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.

4. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 326 "Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям"

Сведения об авторах:

Неугодников П.Е. – аспирант 1 курса, научной специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы, кафедры Энергетики ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

Суворов И.Ф. – научный руководитель, д.т.н., профессор, профессор кафедры Энергетики, ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

Рыбакова И.Ю. – старший преподаватель кафедры Энергетики, ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

НЕОБХОДИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К СНИЖЕНИЮ РИСКОВ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ И ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ОСОБЕННО В КОНТЕКСТЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 6-10 КВ

Огурцов Д.А.
(ЮУрГУ, г. Челябинск, Россия)
E-mail: rbyua@yandex.ru

Аннотация: Статья посвящена анализу воздушных линий электропередач (ВЛЭП) номинального напряжения 6-10 кВ в России, акцентируя внимание на риске возникновения ландшафтных пожаров из-за аварийных режимов работы ВЛЭП. Работа направлена на разработку мер по предотвращению пожаров для увеличения безопасности электроснабжения. В ней представлены исследования случаев возникновения пожаров, оценка уязвимости ВЛЭП и разработка систем раннего обнаружения опасностей, а также направления для будущих исследований в сфере электробезопасности.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, ландшафтные пожары, безопасность электроснабжения, аварийные режимы работы, системы раннего обнаружения

THE NEED FOR AN INTEGRATIVE APPROACH TO REDUCING THE RISKS OF LANDSCAPE FIRE AND INCREASING THE RELIABILITY OF ELECTRIC SUPPLY, ESPECIALLY IN THE CONTEXT OF 6-10 KV OVERHEAD POWER LINES

Annotation: The article analyzes the air power lines (APL) of 6-10 kV nominal voltage in Russia, focusing on the risk of landscape fires due to emergency modes of APL operation. The goal is to develop measures to prevent fires, thereby enhancing the safety of power supply. It presents studies on fire cases, assesses the vulnerability of APL, and develops early danger detection systems, along with directions for future research in electrical safety.

Keywords: air power lines, landscape fires, power supply safety, emergency operating modes, early detection systems

Воздушные линии электропередач номинального напряжения 6-10 кВ (далее - ВЛЭП) являются ключевым элементом системы электроснабжения Российской Федерации и обеспечивают передачу электроэнергии от источников генерации к конечным потребителям на большие расстояния.

Одновременно с этим, аварийные режимы работы ВЛЭП могут стать причиной возникновения как техногенных, так наиболее масштабных и

непредсказуемых ландшафтных (природных) пожаров. Это представляет собой значительный риск как для окружающей среды, так и для энергетической инфраструктуры, создавая замкнутый круг.

В контексте общего изменения климата и общего повышения рисков ландшафтных пожаров, вопросы обеспечения надёжной работы ВЛЭП имеет критическую значимость для области безопасности труда в электроэнергетике.

Целью данной работы является разработка мер по предотвращению возникновения ландшафтных пожаров для обеспечения повышенной безопасности и надёжности электроснабжения.

Задачами работы являются:

- исследование случаев, когда аварийный режим работы ВЛЭП привел к возникновению ландшафтных пожаров;
- оценка уязвимости существующих ВЛЭП перед подобными рисками;
- разработка систем раннего обнаружения и автоматического реагирования на потенциальные опасности;
- формулировка направлений для дальнейших исследований в области электробезопасности и предотвращения пожаров.

Согласно статистическим данным ПАО «Россети», на каждые 100 км воздушных линий электрических сетей ежегодно регистрируются до 26 отключений.

К основным причинам этих отключений относят обрыв провода, механическое повреждение опор и изоляторов, физический износ материалов и оборудования, замыкание на землю, воздействие природных осадков и факторов и другие посторонние воздействия.

Наиболее опасным последствием этого являются короткие замыкания. Электрическая дуга, которая может возникнуть в результате длительного электрического разряда между двумя металлическими элементами с разным потенциалом, может достигать температур в диапазоне 1500-4000 °С, потенциально воспламеняя любой горючий материал либо при прямом контакте, либо при излучении тепла. Также при замыкании на землю, провода вызывают значительный нагрев в месте падения, что может привести к высушиванию и возгоранию травянистого слоя.

Это подтверждается примерами, когда указанные ситуации приводили к печальным последствиям. Так, 15 августа 2022 года, аварийная работа линий электропередачи, по предварительным данным, послужила причиной пожара в Тацинском районе Ростовской области. В результате обрыва фазного провода загорелось сухое сено, огонь по траве распространился на ближайший поселок,

в результате чего повреждены пять домовладений, уничтожены жилые дома, автомобили [1].

Кроме того, с данной проблемой сталкиваются и за рубежом. В конце 2017 года линии электропередач компании Pacific Gas & Electric (PG&E) были признаны виновными в возникновении 12 лесных пожаров в Северной Калифорнии, в результате которых погибло 18 человек. В отчете «Управления лесного хозяйства и пожарной охраны Калифорнии» указано, что эти пожары начались, из-за схлестывания проводов и возникновения электрической дуги, воспламенившей ближайшую растительность [2].

Объединяющим фактором данных случаев являлось формирование кратковременной электрической дуги, вызванной замыканием на землю.

С учетом необходимости обеспечения бесперебойного электроснабжения, существующие системы релейной защиты и автоматики выстраиваются с применением временной задержки на отключение, что позволяет сохранить работоспособность распределительных сетей 6-10 кВ при кратковременных пробоях, замыканиях через большие переходные сопротивления и обрывах воздушных ЛЭП, не сопровождающихся устоявшимися ОЗЗ.

При этом, в текущем виде, приборы релейной защиты и автоматики не способны без применения дополнительных измерительных приборов указать на место повреждения с высокой точностью.

Как следствие, среднее время поиска и локализации проблемного участка составляет 2 часа [3], что в условиях особого противопожарного режима в весенне-летнее время года является достаточным временем для возгорания и распространения сухой растительности, что делает ВЛЭП уязвимыми перед подобными рисками.

Уменьшить негативные последствия возможно за счёт модернизации систем контроля за режимными параметрами линий электропередач путем применения системного многопараметрического анализа данных.

В работе "Особенности моделирования определения мест повреждения воздушных линий электропередачи напряжением 6(10) кВ" С.В. Сидорова рассматриваются ключевые аспекты данной системы [4].

Предложенный алгоритм определения места повреждения воздушной линии электропередачи (ЛЭП) напряжением 6(10) кВ при однофазном замыкании на землю с учётом климатических факторов включает установку на стороне низкого напряжения каждой трансформаторной подстанции 6(10)/0,4 кВ технического средства регистрации сигналов фазных напряжений каждой

фазы и преобразование их в цифровой вид с последующей передачей микропроцессорной системе определения места повреждения (МСОМП).

МСОМП выполняет спектральный анализ принятых цифровых сигналов с помощью быстрого преобразования Фурье. Появление высших гармонических составляющих, превышающих значения до аварийного режима работы ЛЭП, означает возникновение повреждения.

При обнаружении факта возникновения однофазного замыкания на землю МСОМП по запрограммированному алгоритму вычисляет место повреждения на основе данных спектрального анализа сигналов фазных напряжений и встроенной математической модели ЛЭП, параметры которой корректируются в соответствии с входными сигналами технических средств мониторинга температуры и удельного сопротивления грунта.

Исходя из этого, можно сформулировать необходимость дальнейших исследований в данной области, направленных на реализацию данного алгоритма.

В настоящее время особое внимание уделяется цифровизации системы электроснабжения путём внедрения интеллектуальных приборов учета электроэнергии, которые обеспечивают не только точное измерение и мониторинг потребления в реальном времени, но и способны анализировать данные для выявления потенциальных рисков перегрузок и коротких замыканий.

Важность их использования подтверждается нормативной поддержкой на федеральном уровне в России, что создает благоприятные условия для их широкого применения. Минимальный функциональный набор [5] устройств на сегодняшний день позволяет собирать и обрабатывать информацию для реализации предложенного алгоритма.

Разработка программного комплекса для реализации данного предложения становится ключевым элементом в интеграции интеллектуальных систем учета электроэнергии в существующие электросетевые структуры.

Это требует создания высокоэффективного программного обеспечения, способного обрабатывать большие объемы данных в реальном времени, а также обеспечивать точный анализ и предоставление данных для мониторинга и прогнозирования потенциальных рисков.

Программный комплекс должен быть адаптирован для интеграции с различными типами интеллектуальных приборов учета, поддерживая их функциональность и обеспечивая эффективное взаимодействие с центральными системами управления энергетическими ресурсами.

Реализация данного комплекса позволит значительно сократить время локализации опасного участка сети, одновременно с этим сократив риск возникновения пожара в защитной зоне ВЛЭП.

Заключение

Необходимо отметить, что проблема отключений воздушных линий электропередач и пожаров, вызванных последствиями аварийным режимом эксплуатации ВЛЭП, требует организации совместных усилий стороны МЧС России и Минэнерго России, поскольку системы учета электроэнергии являются критически важными для обеспечения надежности и безопасности всей энергетической инфраструктуры.

Литература

1. ТАСС: Аварийная работа ЛЭП стала причиной пожара в Ростовской области, где сгорели жилые дома. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/15472185>
2. ELECTRICAL CONTRACTOR: The Link Between Power Lines and Wildfires. URL: <https://www.ecmag.com/magazine/articles/article-detail/systems-link-between-power-lines-and-wildfires>
3. Приказ “Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок "Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики" (с изменениями на 13 июля 2020 года)“ от 25 октября 2017 № 1013 URL: www.pravo.gov.ru, 27.03.2018
4. Сидоров С. В., Сушков В. В., Сухачев И. С. Особенности моделирования определения мест повреждения воздушных линий электропередачи напряжением 6 (10) кВ //Промышленная энергетика. – 2020. – №. 3. – С. 33-40.
5. Постановление Правительства РФ от 19 июня 2020 г. N 890 “О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)” URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74192774>

Сведения об авторах:

Огурцов Д.А. - аспирант 2 курса, группы П-1004 кафедры БЖД, ЮУрГУ

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ ВНУТРИЗАВОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ЦЕХОВОЙ СЕТИ

Р.М. Петрова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

E-mail: 1998renata@mail.ru

Аннотация: В работе представлена оценка надежности системы внутризаводского электроснабжения на примере схемы участка цеховой сети. Произведен расчет интенсивности отказов элементов схемы системы внутризаводского электроснабжения. Рассчитаны параметры надежности схемы относительно каждого присоединения; относительно распределительного шкафа силового (ШРС) и распределительного пункта силового (ПРС). Приведены графики вероятности безотказной работы и появления отказа во времени. Исследуемые методы применимы для оценки надежности схемы низковольтной сети. Метод относительно каждого присоединения применим при известных значениях интенсивностей отказов λ для каждого элемента схемы, а также для точного определения периодичности технического обслуживания и ремонта электрооборудования в системе внутризаводского электроснабжения. Расчет относительно ШРС и ПРС применим для детального анализа надежности относительно распределения электрической энергии.

Ключевые слова: система внутризаводского электроснабжения, параметры надежности, интенсивность отказов, низковольтное электрооборудование, закон распределения надежности.

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF IN-PLANT POWER SUPPLY SCHEME BY THE EXAMPLE OF A SECTION OF A WORKSHOP NETWORK

Annotation: The paper presents an assessment of the reliability of the in-plant power supply system on the example of the scheme of the workshop network section. The intensity of failures of the elements of the scheme of the in-plant power supply system has been calculated. Reliability parameters of the scheme with respect to each connection; with respect to the power distribution cabinet (SHRs) and power distribution point (PRs) are calculated. Graphs of probability of failure-free operation and occurrence of failure in time are given. The investigated methods are applicable for estimation of reliability of the circuit of low-voltage network. The method relative to each connection is applicable at known values of intensities of failures λ for each element of the scheme, and also for exact determination of periodicity of maintenance and repair of the electrical equipment in the system of

intra-plant power supply. Calculation with respect to SHRs and PRs is applicable for detailed reliability analysis with respect to electric power distribution.

Keywords: *in-plant power supply system, reliability parameters, failure rate, low-voltage electrical equipment, reliability distribution law.*

В настоящее время требуется актуализировать существующие подходы к оценке показателей надежности элементов электрооборудования и систем внутрицехового электроснабжения в целом. [1, 3]. Цель данного исследования заключается в анализе основных показателей надежности низковольтных сетей.

На рисунке 1 приведена схема участка цеховой сети, для которой рассчитываются показатели надежности. Система состоит из высоконадежных элементов и отказ более двух независимых элементов – событие маловероятное.

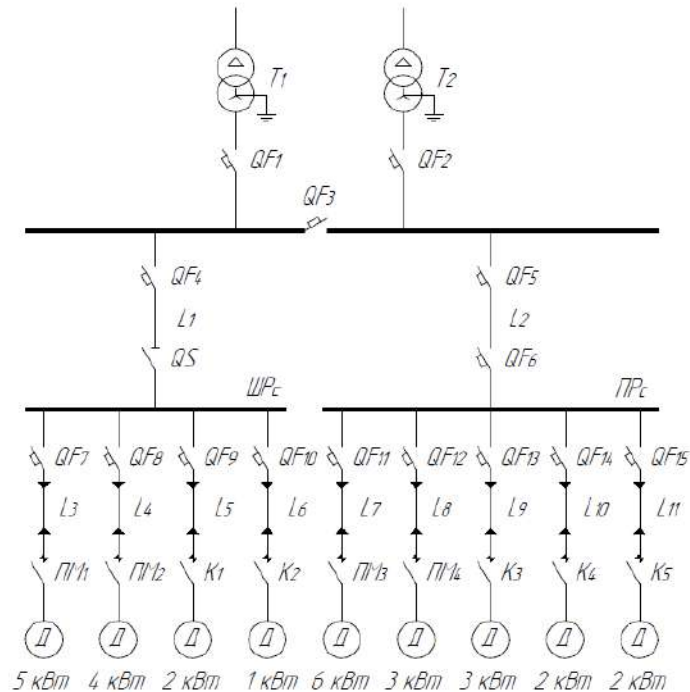


Рис. 1. Схема участка цеховой сети

Исходя из заданной схемы участка цеховой сети и учитывая все возможные пути от источника к потребителю, была составлена структурная схема надежности (рис.2).

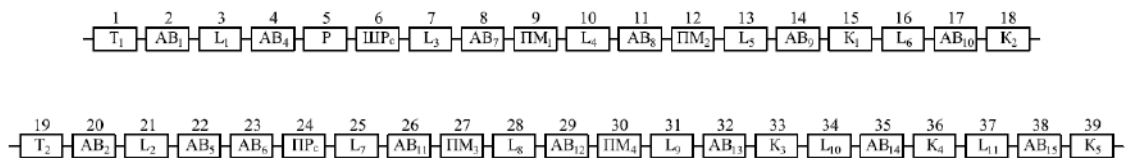


Рис. 2. Структурная схема надежности

Интенсивность отказов для первой схемы:

$$\begin{aligned} \lambda_{C1} &= \lambda_{T1} + \lambda_{AB1} + \lambda_{L1} + \lambda_{AB4} + \lambda_P + \lambda_{ШРс} + \lambda_{L3} + \lambda_{AB7} + \lambda_{ПМ1} + \\ &+ \lambda_{L4} + \lambda_{AB8} + \lambda_{ПМ2} + \lambda_{L5} + \lambda_{AB9} + \lambda_{K1} + \lambda_{L6} + \lambda_{AB10} + \lambda_{K2} = \\ &= \lambda_T + 6 \cdot \lambda_{AB} + 5 \cdot \lambda_L + \lambda_P + \lambda_{ШРс} + 2 \cdot \lambda_{ПМ} + 2 \cdot \lambda_K \end{aligned}$$

Для определения, как изменяется функция вероятности безотказной работы во времени, к структурной схеме надежности применяется метод «свертки» [3].

$$P_{1..18}(t) = e^{-\lambda_{C1} \cdot t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{18})t} \quad (1)$$

$$Q_{1..18}(t) = 1 - e^{-\lambda_{C1} \cdot t} = 1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{18})t} \quad (2)$$

где λ_{C1} – сумма интенсивностей первой схемы;

t – время наблюдения.

Для первой схемы за первый год эксплуатации:

$$P_1(t=1) = e^{-0,7538 \cdot 1} = 0,471$$

$$Q_1(t=1) = 1 - e^{-0,7538 \cdot 1} = 1 - 0,471 = 0,529$$

Построим графики изменения функции вероятности безотказной работы и вероятности появления отказа во времени для первой и второй схем (рис. 3).

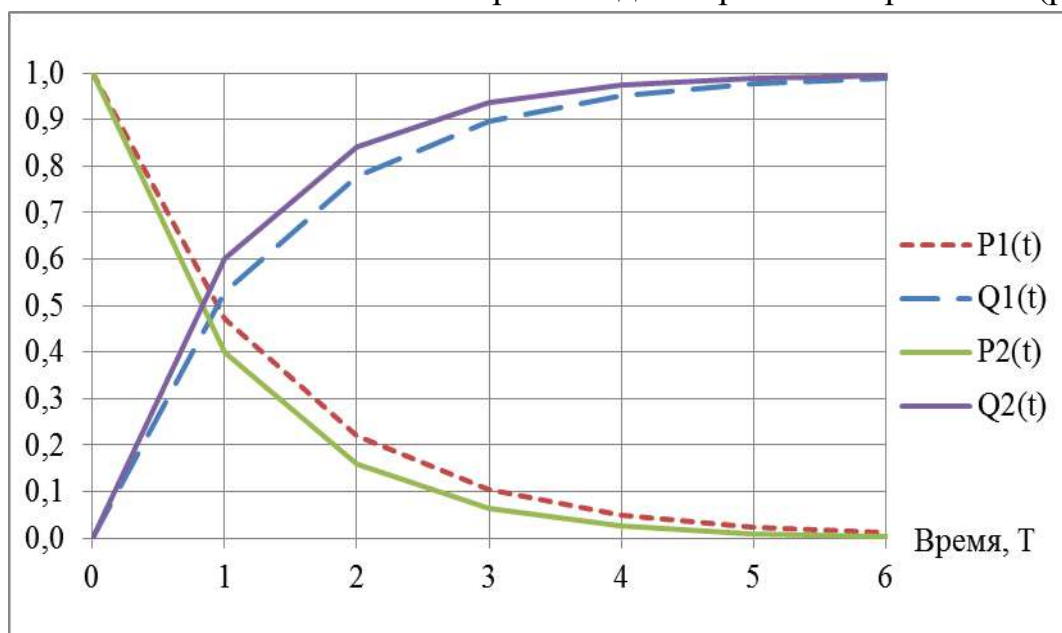


Рис. 3. График изменения функции вероятности безотказной работы и появления отказа во времени

На (рис. 3): $P_1(t)$, $Q_1(t)$ – вероятности безотказной работы и появления отказа во времени для первой схемы; $P_2(t)$, $Q_2(t)$ – для второй схемы соответственно.

По рис. 3 видно, что вероятности безотказной работы для первой и второй схем отличаются незначительно и соответствуют экспоненциальному закону распределения надежности. Графическая зависимость показывает, что расчетная схема удовлетворяет требованию надежности, предъявляемые к цеховым сетям [1, 2].

Для проверки обобщенного метода расчета по экспоненциальному закону распределения, воспользуемся детальным методом, который основан на оценке надежности первой и второй схем относительно каждого присоединения для распределительного шкафа и распределительного пункта.

На рис. 4 изображены расчетные схемы надежности относительно каждого присоединения для распределительного шкафа.

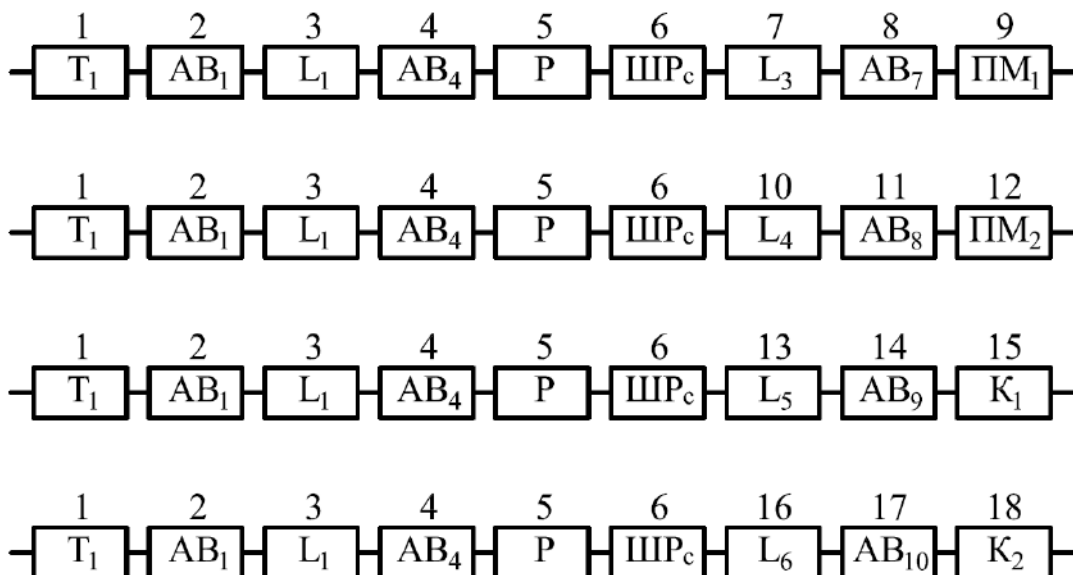


Рис. 4. Расчетные схемы надежности относительно распределительного шкафа (ШРс) для первого, второго, третьего и четвертого присоединений соответственно

Интенсивность отказов относительно первого присоединения:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \lambda_{T1} + \lambda_{AB1} + \lambda_{L1} + \lambda_{AB4} + \lambda_P + \lambda_{ШРс} + \lambda_{L3} + \lambda_{AB7} + \lambda_{ПМ1} = \\ &= \lambda_T + 3 \cdot \lambda_{AB} + 2 \cdot \lambda_L + \lambda_P + \lambda_{ШРс} + \lambda_{ПМ} \end{aligned}$$

Интенсивности отказов относительно каждого элемента для распределительного пункта (ПРс) рассчитываются аналогично.

Для пятого присоединения:

$$\begin{aligned}\lambda_5 &= \lambda_{T2} + \lambda_{AB2} + \lambda_{L2} + \lambda_{AB5} + \lambda_{AB6} + \lambda_{PPc} + \lambda_{L7} + \lambda_{AB11} + \lambda_{ПМ3} = \\ &= \lambda_T + 4 \cdot \lambda_{AB} + \lambda_{PPc} + 2 \cdot \lambda_L + \lambda_{ПМ}\end{aligned}$$

Вероятности безотказной работы и появления отказа во времени рассчитаны по упомянутым ранее формулам:

$$P_{1,2}(t=1) = e^{-\lambda_1 \cdot t} = e^{-0,354 \cdot 1} = 0,702$$

$$Q_{1,2}(t=1) = 1 - e^{-\lambda_1 \cdot t} = 1 - e^{-0,354 \cdot 1} = 0,298$$

На рис. 5 приведены результаты расчетов изменения функции вероятности безотказной работы и появления отказа во времени относительно каждого присоединения для распределительного шкафа и распределительного пункта.

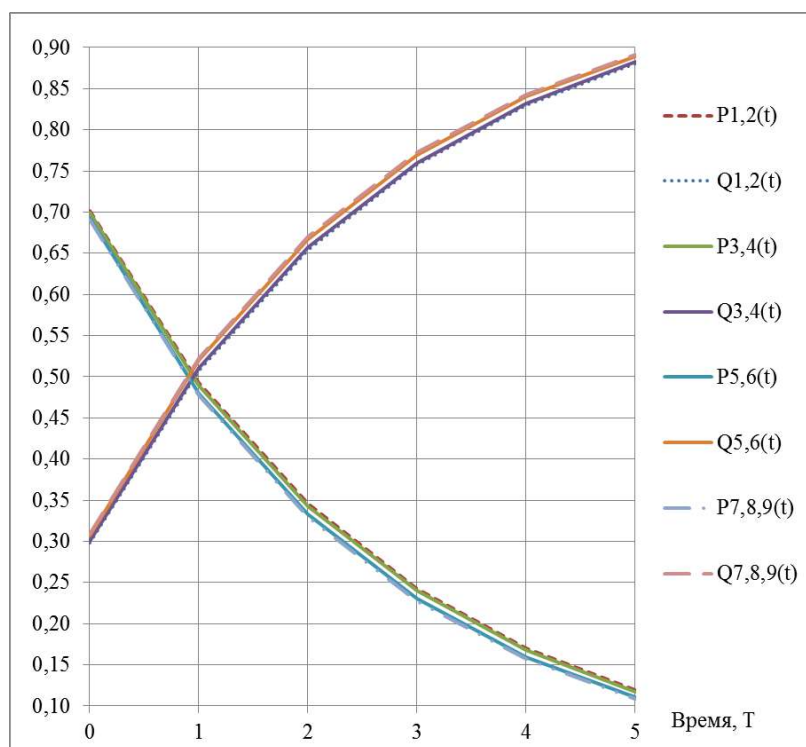


Рис. 5. Графики изменения функции вероятности безотказной работы и появления отказа во времени относительно каждого присоединения для распределительного шкафа и распределительного пункта

На основании графических зависимостей (рис. 5) можно сделать вывод, что функции вероятности безотказной работы и появления отказа во времени подчиняются экспоненциальному (показательному) закону распределения.

Данный метод применим для оценки надежности схемы относительно каждого присоединения, в сравнении с первым методом, где расчет

производился для всей схемы целиком. Проведенный расчет позволяет наиболее точно определять основные характеристики надежности низковольтных сетей.

Заключение

Результаты расчетов показали, что исследуемый метод расчета применим для оценки надежности схемы низковольтной сети, а именно – при известных значениях интенсивностей отказов λ для каждого элемента схемы, а также для точного определения периодичности технического обслуживания и ремонта электрооборудования в системе внутривозового электроснабжения.

Расчет относительно распределительного шкафа (ШРС) и распределительного пункта (ПРС) применим для детального анализа надежности относительно распределения электроэнергии, а не всей схемы целиком.

Литература

1. Петрова Р.М, Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Valtchev S., Yousef Ibragim. Исследование вероятностных характеристик надежности электрооборудования внутрицеховых систем электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. No1 (57). С. 93-105.
2. E. Gracheva, R. M. Petrova, S. Valtchev and T. Sinyukova, "Study of Probability Characteristics of the Reliability of Electrical Equipment in Internal Power Supply Systems," 2023 5th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), Nevsehir, Turkiye, 2023, pp. 460-465, doi: 10.1109/GPECOM58364.2023.10175821.
3. Грачева, Е.И., Садыков, Р.Р. Исследование вероятностных характеристик систем электроснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №1-2.

Сведения об авторах:

Петрова Р.М. – аспирантка 2-го курса, группы СЭМа-1-22 кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань, Россия.

К ВОПРОСУ КООРДИНАЦИИ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Шарипов Э.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

***Аннотация:** Приведены основные этапы координации уровней токов КЗ в ЭЭС при решении поставленных задач. Указано, что при рассмотрении каждого этапа характерны свои цели и задачи, объем исходной информации и определенные способы координации уровней токов КЗ. Также приведены возможные методы проверки отключающей способности высоковольтных выключателей.*

***Ключевые слова:** уровни токов коротких замыканий, электроэнергетическая система, высоковольтные выключатели, отключающая способность.*

ON THE ISSUE OF COORDINATION OF SHORT CIRCUIT CURRENT LEVELS

***Annotation:** The main stages of coordination of short-circuit current levels in EPS when solving problems are presented. It is indicated that the consideration of each stage has its own goals and objectives, the amount of initial information and certain methods of coordinating the levels of short-circuit currents. Possible methods for checking the breaking capacity of high-voltage circuit breakers are also given.*

***Key words:** short circuit current levels, electrical power system, high-voltage circuit breakers, breaking capacity.*

При вводе Рогунской ГЭС уровни токов коротких замыканий (КЗ) в сетях различного напряжения электроэнергетической системы (ЭЭС) РТ возрастают. Параметры электротехнического оборудования, ранее установленного на электростанциях и подстанциях ЭЭС РТ, в том числе высоковольтных выключателей (ВВ), могут оказаться не соответствующими уровню токов КЗ и параметрам обеспечивающих отключающей способности при различных режимах КЗ, что может привести к росту аварийности и к недоотпуску электроэнергии потребителям.

В связи с этим актуальной является проблема оценки соответствия отключающей способности выключателей с номинальными напряжениями 110, 220 и 500 кВ, установленных на ПС и электрических станциях ЭЭС РТ, токам КЗ и параметрам ПВН.

Вопрос о координации уровней токов КЗ в ЭЭС возникает и решается на четырех этапах см. рисунок 1.

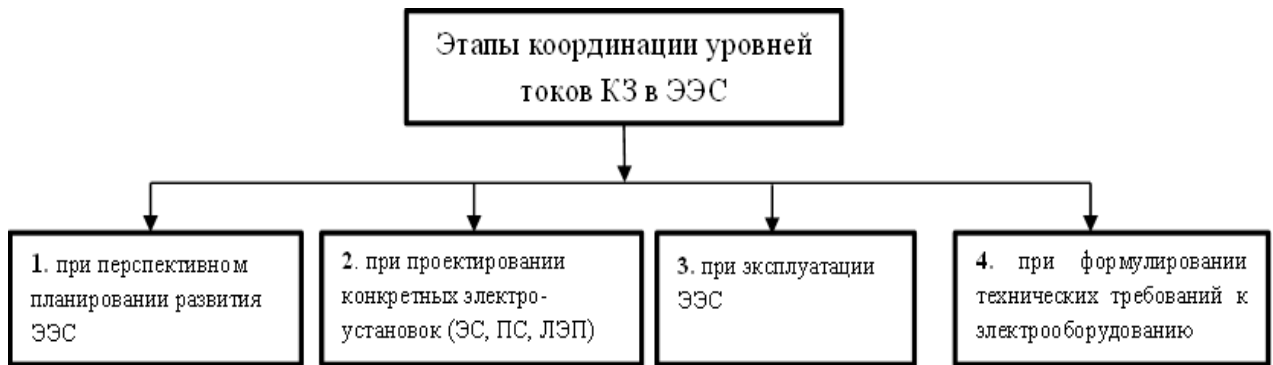


Рисунок 1 – Этапы координации уровней токов КЗ в ЭЭС

Для каждого этапа характерны свои цели и задачи, объем исходной информации и определенные способы координации уровней токов КЗ.

На первом этапе решаются стратегические задачи развития ЭЭС, и координация уровней токов КЗ преследует цель выбора оптимальной структуры и параметров сетей, учитывающая перспективную динамику изменения параметров ЭЭС и возможную динамику изменений параметров электрооборудования. Для координации уровней токов КЗ на данном этапе целесообразно использовать:

- схемные решения;
- трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной и различного рода токоограничивающие устройства;
- новые типы быстродействующих коммутационных аппаратов;
- отказ от автотрансформаторных связей между распределительными устройствами (РУ) повышенных напряжений отдельных ЭС;
- оптимальный режим нейтралей электрических сетей.

На втором этапе решаются тактические задачи развития ЭЭС и используются более определенная исходная информация, чем на первом этапе.

Здесь учитываются параметры конкретного узла (региона) ЭЭС с известной предысторией, состоянием на данный момент и планируемой перспективой.

Параметры возможного к исполнению электрооборудования также достаточно определены и цель координации токов КЗ на данном этапе состоит в выборе оптимальной схемы электроустановки и ее связей с узловыми ПС ЭЭС с учётом возможных технических и технико-экономических параметров электрооборудования, режимных ограничений, требований к устойчивости, надежности работы и удобства последующей эксплуатации электроустановки.

Для координации уровней токов КЗ могут быть использованы способы, перечисленные в первом этапе.

На третьем этапе имеется информация о предыстории и о состоянии электроустановки в данный момент, но недостаточная информация о перспективах развития ЭЭС. Цель координации на данном этапе состоит в оперативном решении вопросов об оптимальном изменении схемы, режимов работы или параметров элементов и электрооборудования электроустановки ЭЭС для приведения в соответствие параметров оборудования и уровней токов КЗ. Для координации уровней токов КЗ в эксплуатации целесообразно использовать один или несколько из следующих способов:

- токоограничивающие реакторы;
- токоограничивающие устройства различного типа;
- трансформаторы (автотрансформаторы) с расщепленной обмоткой низшего напряжения;
- стационарное деление сети (СДС);
- автоматическое деление сети (АДС);
- разземление нейтралей части трансформаторов;
- заземление нейтралей части трансформаторов и автотрансформаторов через реакторы, резисторы или иные токоограничивающие устройства;

На четвертом этапе с учетом динамики развития ЭЭС формулируются технические требования к электрооборудованию и задания на его разработку и внедрение [1].

Координация уровней токов КЗ в ЭЭС РТ, предполагает согласование токов КЗ с параметрами установленных выключателей по отключающей способности по выше этапов.

Для проверки отключающей способности высоковольтных выключателей могут применяться различные методы, включая измерения силы тока, напряжения и времени срабатывания. Однако, важно соблюдать рекомендации и стандарты безопасности при проведении этих проверок, а также использовать соответствующее оборудование и принять меры предосторожности, чтобы избежать возможных рисков и повреждений (табл. 1).

Таблица 1 - Возможные методы проверки отключающей способности

№п/п	Метод	Описание
1	Испытания нагрузкой	Этот метод включает подачу регулируемой нагрузки на выключатель с целью проверить его способность прерывать электрическую цепь при заданных условиях. Во время испытания нагрузкой измеряются токи и напряжения, что

		позволяет оценить отключающую способность выключателя.
2	Испытания коротким замыканием	Этот метод включает создание короткого замыкания в электрической цепи и проверку способности выключателя прервать уровень тока, вызванного коротким замыканием. Этот метод может быть использован для проверки отключающей способности выключателя в критических условиях, а также для оценки времени отключения.
3	Визуальный осмотр и проверка	Этот метод включает внимательный осмотр выключателя на предмет механических повреждений, следов коррозии и других видимых дефектов. Также проводится проверка электрических соединений и контактов выключателя. Визуальный осмотр может быть комбинирован с другими методами проверки отключающей способности.
4	Испытания с применением специального оборудования	Существует различное специализированное оборудование, которое может быть использовано для проверки отключающей способности высоковольтных выключателей. Например, можно применить электронные тестеры, которые позволяют измерить и записать различные параметры выключателя, такие как сопротивление изоляции и контактное сопротивление. Это позволяет получить более точные данные о состоянии выключателя и его отключающей способности.

В зависимости от необходимых условий, технико-экономических показателей и требуемой степени для ограничения токов КЗ в конкретных электроустановках или в определенных сетях ЭЭС необходимы различные средства токоограничения или их комбинации, дающие наибольший технико-экономический эффект [2, 3, 4].

Выводы

Выбор оптимального способа координации уровней токов КЗ в ЭЭС РТ является сложной научно-технической задачей и в условиях ограниченности

капиталовложений предполагает использование малозатратных способов ограничения токов КЗ. Необходимость применения специальных средств токоограничения должно быть рассмотрено в случаях, когда исчерпаны возможности малозатратных способов.

Литература

1. Б. Н. Неклепаев/ Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических сетях/ изд. Энергия, М. 1978.

2. Антипов К.М., Востросаблин А.А., Жуков В.В., Кудрявцев Е.П., Крючков И.П., Кузнецов Ю.П., Мозгалев К.В., Неклепаев Б.Н., Пираторов М.В., Пойдо А.И., Шунтов А.В. О проблеме координации уровней токов короткого замыкания в энергосистемах// Электрические станции. – 2005.– №4.–с. 19-32.

3. Игнатов В.В. Ограничение токов КЗ делением электрических сетей, и оценка его влияния на режимы энергосистемы / Диссертация. – НИУ МЭИ, 2010, 107с.

4. Рахимов Дж.Б., Гусев Ю.П. Рост уровней токов КЗ - сдерживающий фактор развития экономики // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы IV – й российской молодежной научной школы – конференции. В.2 т. Т.2/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд – во ООО «ЦРУ», 2016, с. 80 – 84.

Сведения об авторах:

Шарипов Э. – соискатель 1-го курса, кафедры «ЭС», ТТУ имени академика М.С. Осими.

СКИН-ЭФФЕКТ В ВЫСОКТЕМПЕРАТУРНОМ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ТРАНСФОРМАТОРЕ НА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Галеев Р.Г.¹ Реутов С. Н.²

¹*Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск,*

²*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного
транспорта»*

galeew.ratmie@yandex.ru

***Аннотация.** Применение высокотемпературных сверхпроводящих проводников (ВТСП) имеет большую перспективу в электрических машинах, автономных и мобильных системах электроснабжения работающих на повышенной частоте электрического тока. ВТСП является идеальным диамагнетиком, в совокупности с высокой электропроводностью, что позволяет исключить отрицательное влияние скин-эффекта, который интенсивнее проявляется при повышении частоты. Значимость данного исследования заключается в повышении КПД трансформаторного электрооборудования и увеличение удельной мощности на единицу веса.*

***Ключевые слова:** Трансформатор, повышенная частота, скин-эффект, энергоэффективность.*

SKIN EFFECT IN A HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTING TRANSFORMER AT INCREASED FREQUENCY OF ELECTRIC CURRENT

***Abstract.** The use of high-temperature superconducting conductors (HTS) has great prospects in electric machines, autonomous and mobile power supply systems operating at an increased frequency of electric current. HTSP is an ideal diamagnet, combined with high electrical conductivity, which eliminates the negative effect of the skin effect, which is more intense when the frequency increases. The significance of this study is to increase the efficiency of transformer electrical equipment and increase the specific power per unit weight.*

***Keywords:** Transformer, increased frequency, skin effect, energy efficiency.*

При проектировании систем электроснабжения автономных и мобильных объектов электротранспортной и логистической структуры, морских и воздушных судов, остро стоит вопрос энергоэффективности и массогабаритных размеров трансформаторного электрооборудования и накопителей энергии. Применение полупроводниковых устройств преобразования напряжения является перспективным направлением развития и

замене электрическим машинам основанных на физическом явлении электромагнитной индукции, но на данный момент полупроводниковые устройства являются весьма дорогостоящим оборудованием и к тому же являются весьма не надежными, что при определенных обстоятельствах может привести к нарушениям электроснабжения и даже несчастным случаям. Приоритетным устройством трансформации напряжения при заданной частоте является трансформаторное электрооборудование на основе магнитосвязанных катушек индуктивности.

Трансформатор при своих качествах высокой надежности и простоте конструкции имеет малую удельную мощность на единицу массы, приблизительно 180 Вт/кг. Учитывая, что трансформаторное электрооборудование включено в мобильную систему электроснабжения его энергоэффективность и массогабаритные параметры оказывают существенное влияние на возможности транспортировки полезной нагрузки.

При промышленной частоте 50 и 60 Гц, используемой во всем мире, сопротивление скин-эффекту незначительно и обычно не учитывается. Эффект вытеснения возникает вследствие магнитного потока во внутреннем пространстве проводника, созданным действующим током в проводе. Ток, индуцируемый внутренним магнитным потоком, ближе к центру провода имеет противоположное направление действующему току и попутное направление по внешнему контуру проводника. Скин-эффект приводит к экспоненциальному уменьшению плотности тока с глубиной.

Неравномерное распределение тока по поперечному сечению проводника отображаются теоретическим анализом с использованием функций Бесселя, которые представляют наличие внутренней индукции в проводнике, на несколько порядков меньше внешней индукции. Для комплексных амплитуд плотности тока и напряженности магнитного поля описываются следующие уравнения.

$$\frac{d^2 J_m}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dJ_m}{dr} = j\omega\mu\gamma J_m \quad (1)$$

$$\frac{d^2 \dot{H}_m}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\dot{H}_m}{dr} - \frac{\dot{H}_m}{r^2} = j\omega\mu\gamma \dot{H}_m \quad (2)$$

Сопротивление цилиндрического проводника определяют суммой сопротивлений внутреннего импеданса проводника и внешнего импеданса.

$$Z = Z_{in} + Z_{ex} \quad (3)$$

Электромагнитная поверхностная глубина δ , на которой плотность тока составляет $1/e$ ($\approx 37\%$) от его поверхностной плотности, определяется уравнением.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \sigma f \mu}} \quad (4)$$

где σ – проводимость проводника; μ – проницаемость проводника.

От поверхности к оси провода плотность тока уменьшается по экспоненциальной зависимости.

$$J_z = J_0 \cdot e^{-\frac{z}{\delta}} \quad (5)$$

где J_0 – плотность тока на поверхности; z – глубина производимого расчета;

Из (1) и (2) следует, что чем ближе к оси проводника, тем меньше плотность тока тем самым значительная площадь сечения провода не задействована в передачи электроэнергии. Как представлено на рис. 1.

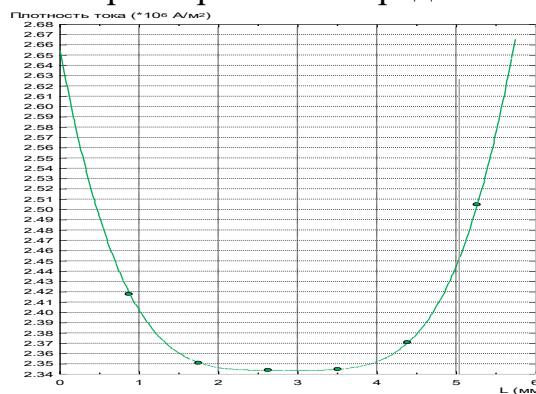


Рис. 1. Графическое отображение плотности тока по сечению проводника.

Из анализа следует, что при проектировании сверхпроводящего трансформатора на повышенной частоте необходимо принимать во внимание скин-эффект. В программной среде Elcut профессиональной версии 6.6 методом конечных элементов произведено моделирование вытеснения тока к поверхности для медного проводника диаметром 5,7 мм и плотностью тока 2,4 А/мм² при частоте переменного тока: 200, 400 и 800 Гц. На рис. 2 представлена цветовая диаграмма вытеснения тока к поверхности проводника. В поперечном сечении медного провода площадью 25,5 мм² с шагом дискретизации 0,05 мм получена сетка конечных элементов с 1306 узлами, что в полной мере отображает картину на которой видно, что при частоте 400 Гц и выше более явно проявляется скин-эффект. Медь по магнитным свойствам относится к диамагнетикам, но её магнитная проницаемость больше нуля $\mu = 0,999990$. Это приводит к проникновению магнитного поля вглубь проводника и образованию магнитной индукции определенной напряженностью, что ведет к

образованию вихревых токов. Их повышение, в свою очередь, влечет за собой к более интенсивному вытеснению тока к поверхности проводника. В связи с этим возрастает выделение тепла и падение напряжения.

Сверхпроводники являются абсолютными диамагнетиками, магнитная проницаемость которых равна нулю при этом происходит полное вытеснение магнитного поля из объема проводника в сверхпроводящем состоянии. Отсутствие магнитного потока внутри проводника, созданного током протекающим в проводе, исключает создание вихревого электрического поля, которое направлено против движения электрического тока внутри провода. Поток магнитной индукции для медного проводника и ВТСП показан на рис.3.

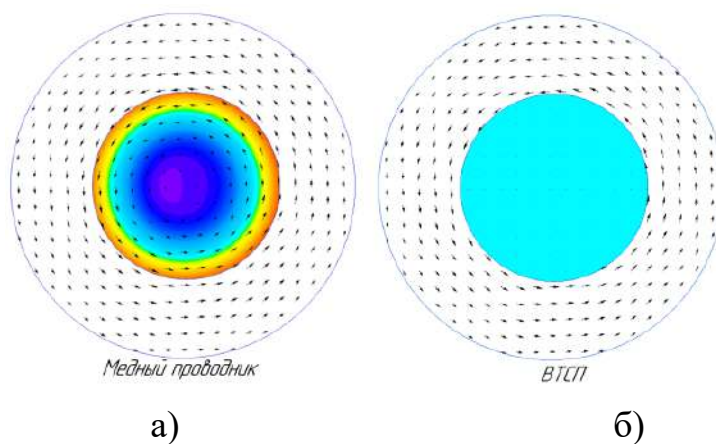


Рис. 3 – Проникновения магнитного потока в глубь проводника при 800 Гц: а) Медного проводника; б) ВТСП.

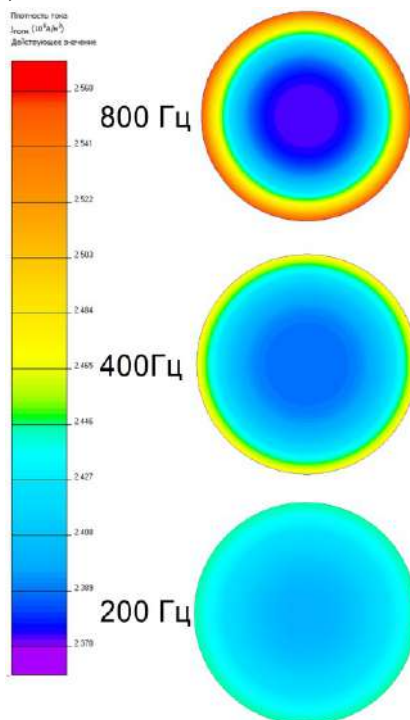


Рис. 2. – Цветовая диаграмма вытеснения тока к поверхности проводника при повышении частоты.

В сверхпроводнике электроны формируют пары, называемые куперовскими парами, которые образуют сверхпроводящее состояние. Они обладают нулевым спином и могут передвигаться без взаимодействия с кристаллической решеткой, вызывая нулевое сопротивление в материале. Эта подтверждается эффектом вытеснения внешнего магнитного поля из тела сверхпроводника за счет внутреннего вихревого тока (эффект Мейснера) в сверхпроводниках.

ВТСП проводники обладают нулевым сопротивлением при температуре 77 К, следовательно выражение (4) трудно применимо.

Выводы

Проведенное исследование позволяет утверждать, что применение высокотемпературных сверхпроводников в состоянии сверхпроводимости исключает явление скин-эффекта, что в свою очередь позволяет неограниченно повышать частоту электрического тока в перспективе 1000 и более Гц. Это приведет к значительному уменьшению массогабаритных характеристик генерирующего и преобразующего оборудования системы электроснабжения и увеличению энергоемкости и следовательно к увеличению КПД.

Список литературы

1. Malcolm S. R. Experimental measurements of the skin effect and internal inductance at low frequencies *Article in Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved)*, 2015 vol.60 , pp.51–69.
2. Pein A. *Skin effect, proximity effect and the resistance of circular and rectangular conductors*. 2022. 41 p.
3. Corcoran J. Nagy P. B. Compensation of the Skin Effect in Low-Frequency Potential Drop Measurements. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2016, vol. 35, no. 4, doi: 10.1007/s10921-016-0374-4.
4. Ibrahim M., Pillay P. Core loss prediction in electrical machine laminations considering skin effect and minor hysteresis loops. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2013 vol. 49, no. 5, p.p. 2061-2068, doi: 10.1109/TIA.2013.2260852.

Сведения об авторах:

Галеев Р.Г. – преподаватель кафедры «ТОЭ» НГТУ.

Реутов С. Н. – учебный мастер кафедры «Э и А», СГУВТ.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ППК MATLAB/SIMULINK И ЕЕ ВЕРИФИКАЦИЯ

Одинабеков М.З., Сидиков Ш.Н.

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, Россия

E-mail: odinabekov97@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается регулирования частоты автоматическим регулятором скорости в энергосистемах малой мощности. Модель регулирования частоты в энергосистемах малой мощности реализована в программно-вычислительном комплексе MATLAB/SIMULINK.

Ключевые слова: энергосистема малой мощности, автоматический регулятор скорости, верификация, сброс/наброс активной мощности.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE POWER SYSTEM ON MATLAB/SIMULINK SCC AND ITS VERIFICATION

Abstract: The paper considers frequency regulation by an automatic speed governor in low-power electric power systems. The model of frequency regulation in low-power electric power systems is realized in the software-computing complex MATLAB/SIMULINK.

Keywords: Low-power electric power system, automatic speed governor, verification, reset/surge of active power.

Как правило, момент инерции энергоблоков малой мощности небольшой (1-2 с), поэтому электромеханические процессы в ЭСММ, в т.ч. изменение частоты при набросах/сбросах активной мощности, протекают очень быстро и возникает острая необходимость быстрого ограничения снижения/повышения частоты для предотвращения погашения электростанции и сохранения электроснабжения потребителей.

Рассмотрим влияние регулятора скорости на процесс изменения частоты при динамических набросах/сбросах активной мощности. Для этой цели необходимо моделировать энергосистему.

Моделирование выполнено для двух режимов работы энергосистемы малой мощности (ЭСММ). В режиме параллельной работы (Рисунок 1) поддерживается переток мощности, а автоматический регулятор скорости (АРС) обеспечивает требуемое участие в регулировании частоты. Следовательно, выбран регулятор скорости пропорционально-

дифференциального (ПД) типа.

В режиме автономной работы (Рисунок 2) регулируется частота и использован регулятор пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) типа.

Для проверки достоверности созданной модели необходимо произвести верификацию полученных с осциллограммами переходного процесса реального объекта [1,2]. Верификация производится путем подбора коэффициентов регулятора.

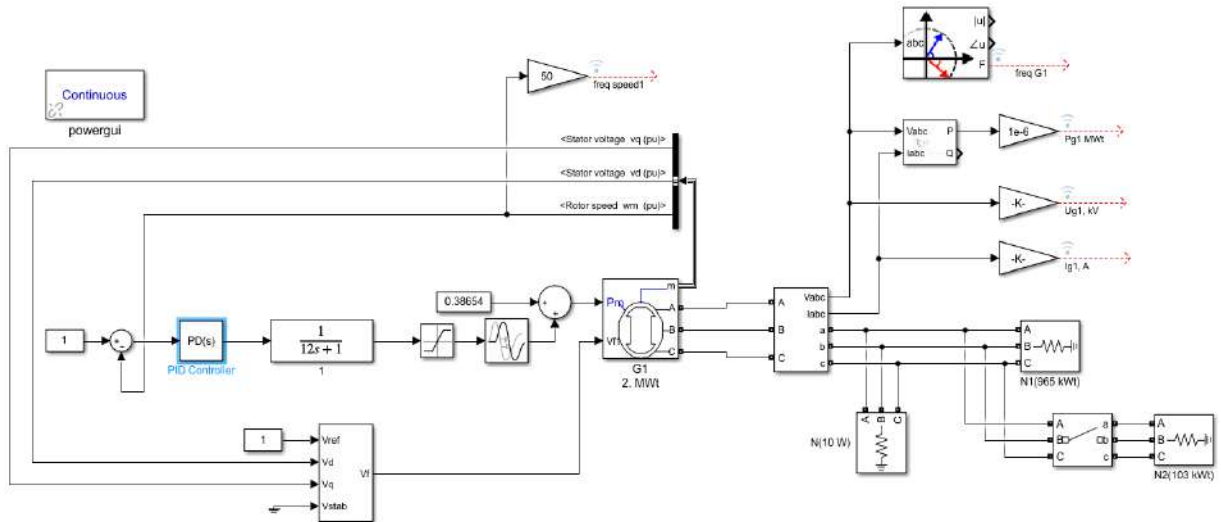


Рис.1. Математическая модель энергоблока с АРС для параллельного режима с ПД регулятором и требуемым статизмом в ПВК Matlab/Simulink

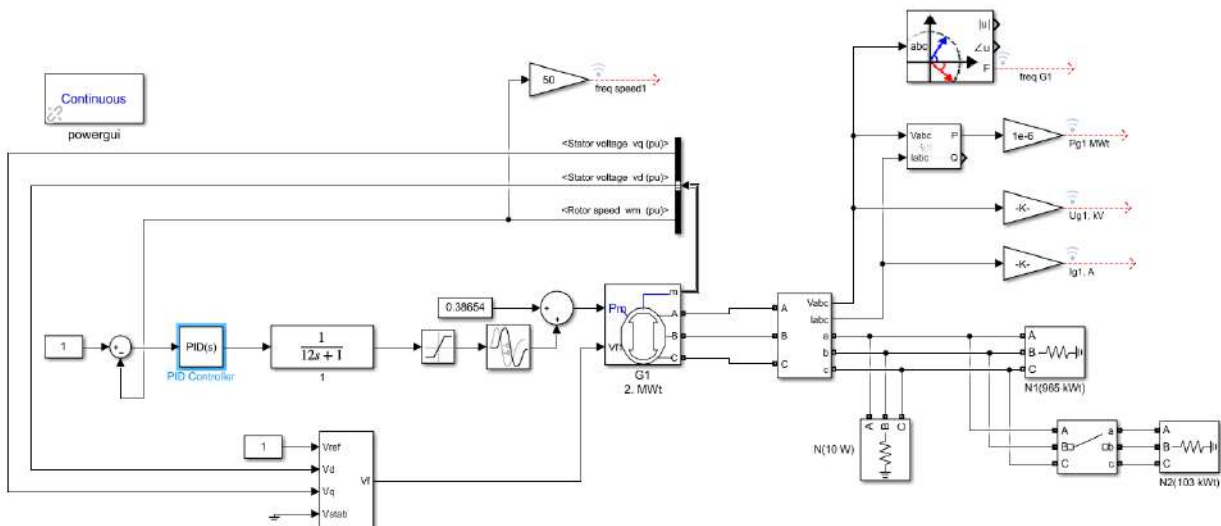


Рис.2. Математическая модель энергоблока с АРС для автономного режима с ПИД регулятором в ПВК Matlab/Simulink

Ниже на рисунках 3 - 4 приведены осциллограммы переходного процесса реального объекта при набросе/сбросе 5% нагрузки. На рисунках 5 – 6 показаны полученные из модели графики переходного процесса при тех же

набросах/сбросах нагрузки.

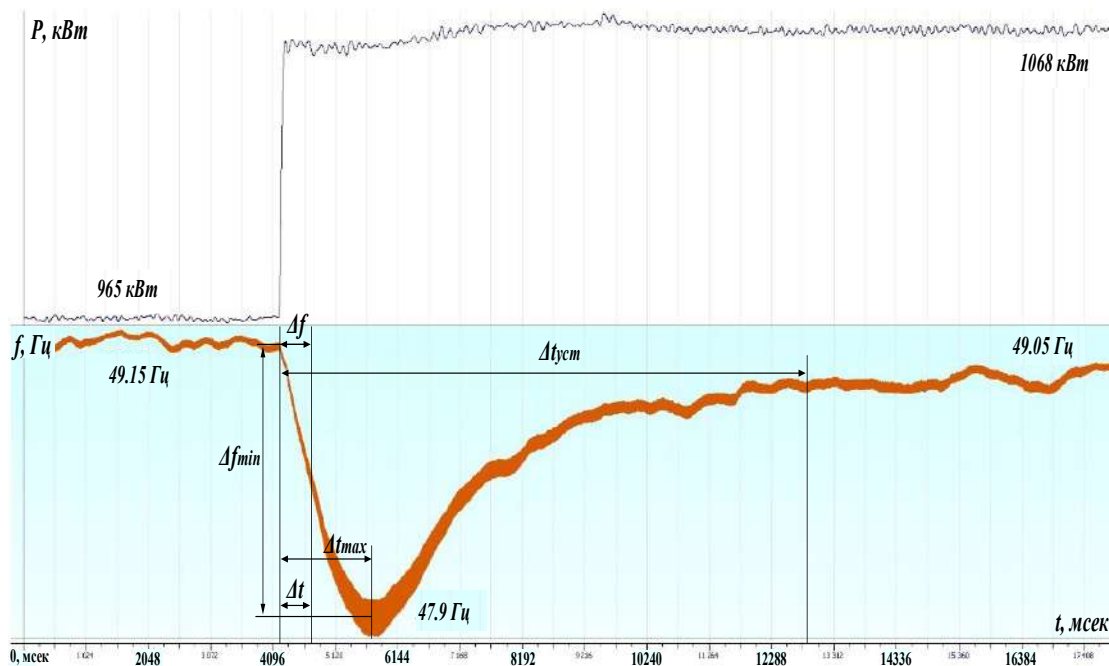


Рис.3. Осциллограмма переходного процесса реального объекта при набросе 103 кВт нагрузки (0,05 о.е.)

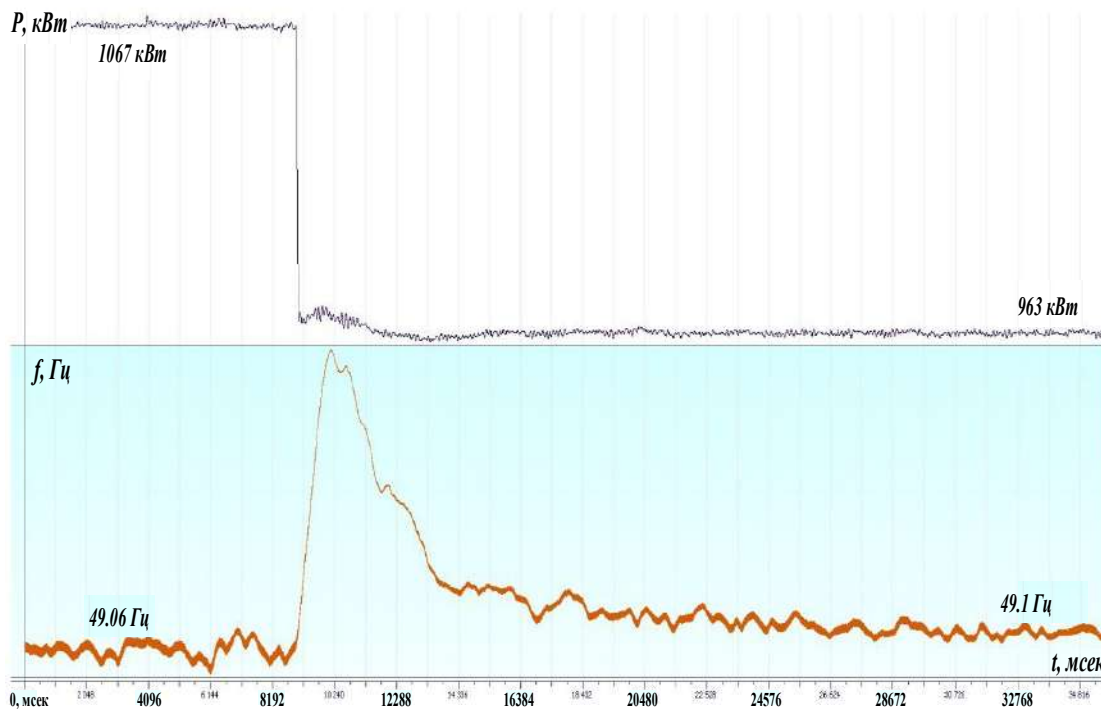


Рис.4. Осциллограмма переходного процесса реального объекта при сбросе 104 кВт нагрузки (0,05 о.е.)

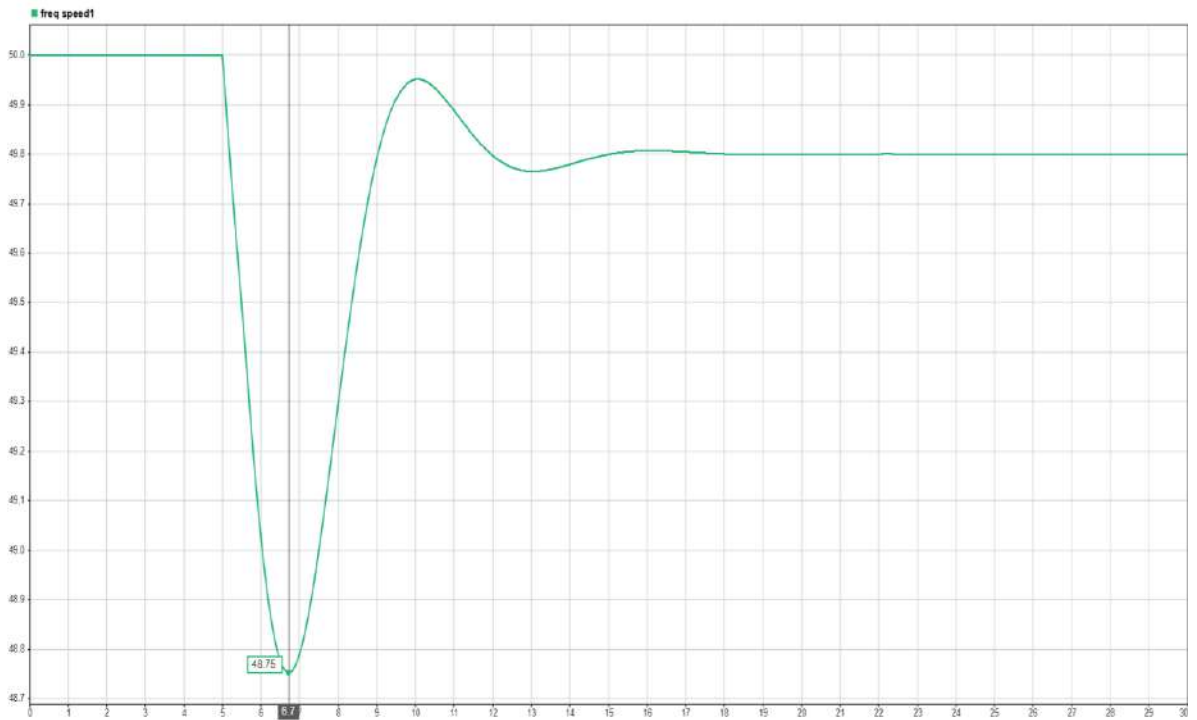


Рис.5. Осциллограмма переходного процесса, полученная по модели Matlab/Simulink при набросе 103 кВт нагрузки

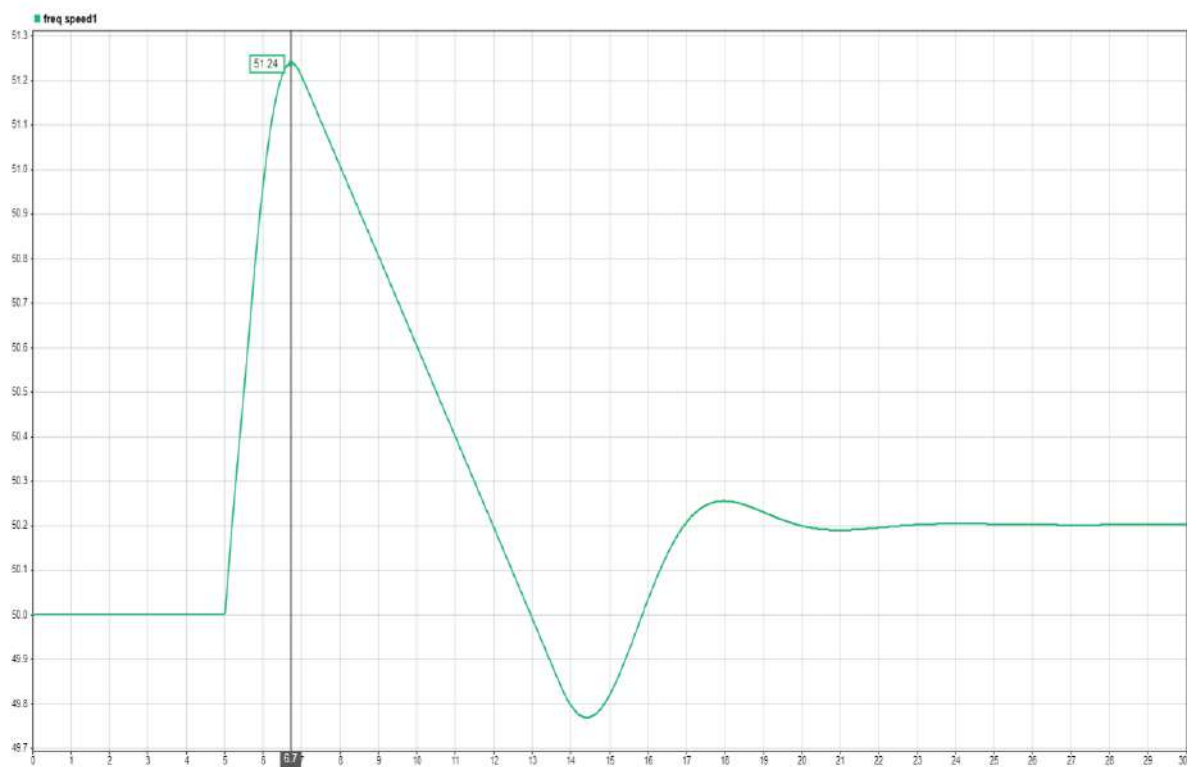


Рис.6. Осциллограмма переходного процесса, полученная по модели Matlab/Simulink при сбросе 104 кВт нагрузки

Описание процесса при набросе 103 кВт нагрузки (Рисунок 3).

Исходно энергоблок работал с мощностью 963 кВт с частотой ЭСММ

49,15 Гц. В момент времени равной 4,2 с произошел наброс мощности 103 кВт на энергоблок. В результате из-за нарушения баланса активной мощности частота начала снижаться и в течение 1,55 с регулятор скорости смог ограничить дальнейшее снижение частоты, и начал восстанавливать частоту до нового установившегося режима с частотой равной 49,05 Гц. Время регулирования составила 8,7 с.

В таблице 1 приведены результаты обработки осциллограмм при набросах/сбросах 5% активной мощности.

Таблица 1 – Результаты обработки осциллограмм при набросе/сбросе активной мощности

	Объект	Модель	Объект	Модель
Возмущение	наброс		сброс	
P , кВт	103		104	
Δf , Гц	0,62	0,66	0,66	0,60
Δt , с	0,52	0,58	0,58	0,60
Δf_{min} , Гц	1,25	1,05	1,05	1,24
Δt_{min} , Гц	1,55	1,12	1,12	1,70
$\Delta t_{уст}$, с	8,70	12,55	12,55	17,0
$\frac{\Delta f}{\Delta t}$, Гц/с	1,19	1,14	1,14	1,00
Характер процесса	апериодическая	колебательная	колебательная	колебательная

Из анализа осциллограмм можно отметить, что при набросе 5 % нагрузки (Таблица 1) характер регулирования модели почти идентичен с реальным. Однако, стоит отметить, что время регулирования АРС модели превышает реальное на 3,4 с. Также необходимо подчеркнуть, что скорость изменения частоты модели на 0,19 Гц/с меньше, чем реальной.

Таким образом, модель регулирования частоты является достаточно адекватна оригиналу при набросах/сбросах активной мощности до 5 %.

Заключение

В режиме автономной работы, а также при переходах из параллельного режима к автономному необходимо дополнительно обеспечить динамическую устойчивость работы энергоблоков и их АРС. Основным требованием при этом является необходимость ограничения динамических набросов/сбросов активной мощности при любых возмущениях до уровня менее 5% от

номинальной (± 100 кВт) мощности энергоблока. При больших значениях возможно нарушение колебательной устойчивости с отключением энергоблоков защитной автоматикой. Регулятор подобран хорошо, но не учтены нелинейности и динамика канала регулирования.

Список литературы

1. Ивкин Е.С. Системная автоматика для создания локальных интеллектуальных энергосистем и управления их режимами: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Ивкин Ефим Сергеевич. – Новосибирск, 2021. – 166 с.

2. Одинабеков М.З. Исследование особенностей задачи ограничения снижения и повышения частоты в локальных интеллектуальных энергосистемах: маг. дис.: 13.04.02 – Новосибирск, 2023. – 79 с.

Сведения об авторах:

Одинабеков Мухаммаджон Завкибекович – аспирант кафедры автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета.

E-mail: odinabekov97@mail.ru

Сидиков Шохрух Нуридинович – аспирант кафедры электрических станций Новосибирского государственного технического университета.

E-mail: shohruh_98_98@bk.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИИ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Манусов В.З.¹, Иванов Г.В.².

¹НГТУ, г. Новосибирск, Россия

²Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия

Аннотация: *Проведен анализ влияния изменения топологии системы электроснабжения на показатели надежности электроснабжения объектов добычи углеводородов. Представлен результат технико-экономического расчета.*

Ключевые слова: *Повышение надежности систем электроснабжения, закрытое распределительное устройство, трансформатор с расщепленной обмоткой.*

CHANGING THE POWER SUPPLY NETWORK TOPOLOGY AS A MEANS OF INCREASING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Abstract: *An analysis of the impact of changes in the topology of the power supply system on the reliability of power supply to hydrocarbon production facilities was carried out. The result of the technical and economic calculation is presented.*

Key words: *Increasing the reliability of power supply systems, closed switchgear, split-winding transformer.*

В связи с наблюдавшейся в недалеком прошлом времени тенденцией строительства магистральных трубопроводов с большой пропускной способностью увеличились требования к технико-эксплуатационным показателям нефтеперекачивающих станций. Для обеспечения слаженной работы перекачивающих агрегатов в оптимальных режимах, правильной эксплуатации и ухода за дорогостоящей линейной частью магистрального трубопровода на нефтеперекачивающих станциях сосредотачиваются значительное количество различных вспомогательных систем, сооружений и оборудования, которые в свою очередь требуют надежного и качественного электроснабжения. Рассматриваемая линейная производственно-диспетчерская станция (ЛПДС) введена в эксплуатацию 70-х годах прошлого столетия, расположена на территории Западной Сибири.

ЛПДС является промежуточной станцией, предназначена для восполнения потерь энергии, затрачиваемой на гидравлическое сопротивление

трубопровода. На ее территории расположено две нефтеперекачивающие станции (НПС) и вспомогательное оборудование.

В состав основного оборудования каждой НПС входят: узлы подключения к магистральным нефтепроводам, схема трубопроводов предусматривает пропуск очистных и диагностических устройств по нефтепроводам, фильтры-грязеуловители, система сглаживания волн давления (ССВД), магистральная насосная, камеры регуляторов давления.

Электроснабжение основных объектов НПС соответствует I категории по надежности электроснабжения. В случае исчезновения электрической энергии на вспомогательные объекты (для жизнеобеспеченности, тушения пожара, освещения и т.д.) автоматически запускается дизельная электростанция ДЭС-630 кВт.

На НПС-1 установлено 45 электрифицированных технологических задвижек.

В настоящее время электроснабжение ЛПДС осуществлено по первой категории от двух трансформаторов с расщепленной обмоткой мощностью 40 МВА каждый, установленных на ПС 110/10 кВ «№1», принадлежащей сетевой энергоснабжающей организации.

НПС-2 запитана от трансформатора 2Т ПС 110/10 кВ «№1» по двум токопроводам (АС-600). НПС-3 запитана от трансформатора 1Т ПС 110/10 кВ «№1» по двум токопроводам (АС-600).

ЗРУ-10 кВ НПС-2 двухсекционное, состоящее из ячеек К-104 с выкатными элементами ВВ-ТЕЛ.

ЗРУ-10 кВ НПС-1 – четырехсекционное, секционные выключатели между секциями шин 1 и 2, 3 и 4 постоянно находятся во включенном состоянии. ЗРУ выполнено из ячеек К-104 с выкатными элементами ВВ-ТЕЛ. Вводные ячейки К-ХV с масляными выключателями ВМПЭ-10.

Резервное питание секций шин 10кВ осуществляется от кабельных перемычек 10 кВ, проложенных по эстакаде между ЗРУ 10 кВ НПС-1 и НПС-2.

Питание собственных нужд НПС-1 ЛПДС осуществлено от двух трансформаторов собственных нужд ТМГ-630/10/0,4 кВ. На НПС-2 установлены два трансформатора собственных нужд ТСЗГЛ-1000 10/0,4.

Для электроснабжения особой группы на обеих нефтеперекачивающих станциях (система пенотушения, маслосистема, вентиляция, дежурное освещение, агрегатные задвижки, задвижки узла подключения НПС, котельная) дополнительно установлена дизельная электростанция ДЭС-630 кВт 0,4 кВ.

Однолинейная схема электроснабжения приведена на рисунке 1.

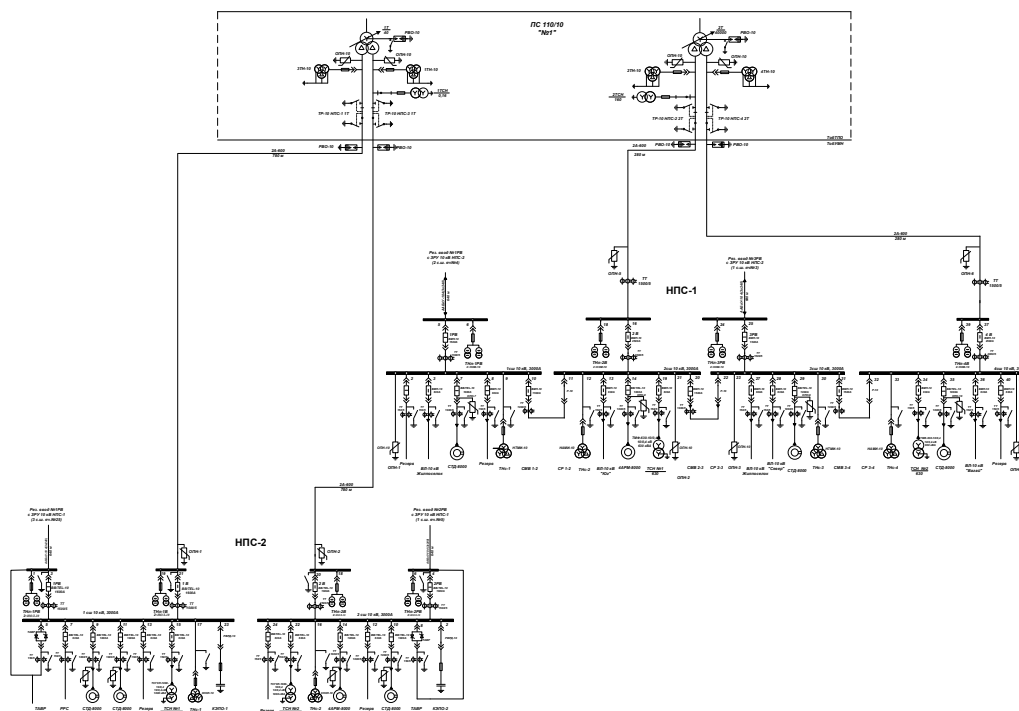


Рисунок 1. – Однолинейная схема электроснабжения НПС-1 и НПС-2 до реконструкции

Техническое предложение по изменению топологии схемы электроснабжения ЗРУ-10 кВ НПС

Описанная выше схема электроснабжения ЛПДС делает нефтеперекачивающие станции неработоспособными при отключении трансформатора, в связи с чем исчезает напряжение с обеих секций шин 10 кВ. Для обеспечения надежности предлагается питание НПС осуществить от разных трансформаторов ПС 110/10 кВ «№1».

Ввиду нецелесообразности использования схемы четырех одиночных секционированных сборных шин для питания потребителей НПС-1, предлагается заменить старую схему на схему двух одиночных систем сборных шин. При этом уменьшится число выключателей, а соответственно и ячеек. Соответственно уменьшится число обслуживаемых элементов, потенциально снижающих надежность электроснабжения.

Между третьей и второй системами шин установлен секционный выключатель, управление которого осуществлялось в «ручном» режиме, что также снижает надежность электроснабжения. Предлагается установить секционный выключатель между двумя системами шин с управлением в автоматическом режиме. Конечный вариант схемы ЗРУ 10 кВ НПС-1 – двухсекционная система сборных шин 10 кВ.

При реконструкции НПС-1 ЛПДС предлагается произвести замену вводных масляных выключателей на вакуумные выключатели серии ВВ/TEL-10. Данные вакуумные выключатели изготовлены специально для комплектных распределительных устройств с ячейками серии К-XXVI.

Выбору выключателей фирмы "Таврида Электрик" в немалой степени способствовали такие свойства ВВ/TEL, как отсутствие необходимости их обслуживания в процессе эксплуатации и практическое отсутствие необходимости проведения их среднего и капитального ремонта в течение всего срока службы. Особенно актуальным это является для удаленных от районных энергоузлов объектов.

Однолинейная схема системы электроснабжения изменения топологии представлена на рисунке 2.

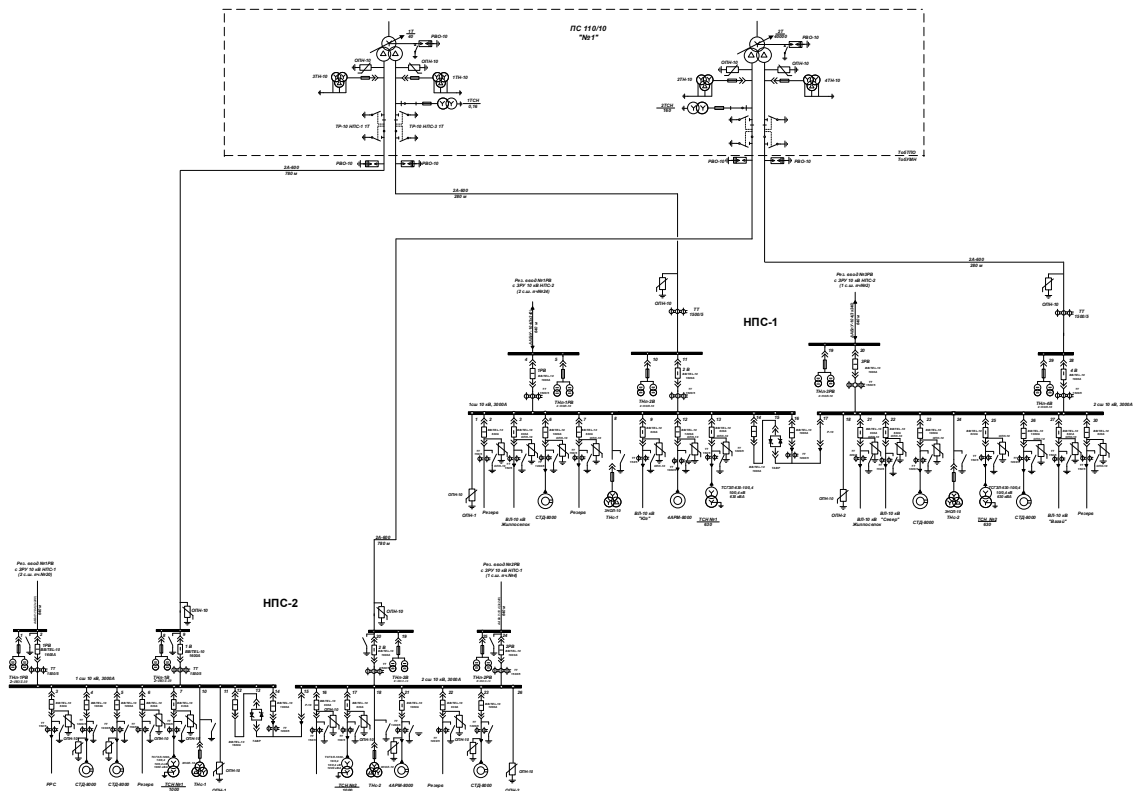


Рисунок 2. – Однолинейная схема электроснабжения НПС-1 и НПС-2 до реконструкции

Оценка экономической эффективности

Эффективность инвестиционного проекта характеризуется системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам участников проекта. Для промышленного предприятия и инвесторов коммерческая эффективность проекта имеет первостепенное значение.

Под стоимостью проекта подразумеваются затраты на установку нового коммутационного оборудования, измерительных трансформаторов.

Годовые эксплуатационные издержки C состоят из стоимости потерь электроэнергии в трансформаторах $C_{\text{пт}}$ и эксплуатационных отчислений $C_{\text{э}}$.

По статистике отдела перерывы в электроснабжении предприятия происходят примерно 1-2 раза в год. Количество нефти недополученной за один час при остановке НПС составляет 3000 тонн. Это определяет ущерб предприятия, возникающий в результате перерыва электроснабжения.

Годовой экономический эффект от реконструкции заключается в сокращении затрат на эксплуатацию и отсутствии ущерба от перерыва электроснабжения.

Показателями экономической эффективности внедрения проекта служат:

- накопленная чистая дисконтированная стоимость по варианту ЗРУ;
- срок окупаемости инвестиций;
- норма рентабельности инвестиций (внутренняя норма доходности).

Соответствующие затрат и результатов инвестиционного проекта распределены на значительном отрезке времени и поэтому неравноценны, так как затраты в более поздние сроки предпочтительней аналогичных затрат в более ранний период.

Чтобы привести результаты и затраты к какому-то моменту времени (начала финансирования, начала эксплуатации, списания) используют коэффициент дисконтирования.

На основании расчёта показателей экономической эффективности построен график окупаемости инвестиций (рисунок 3).

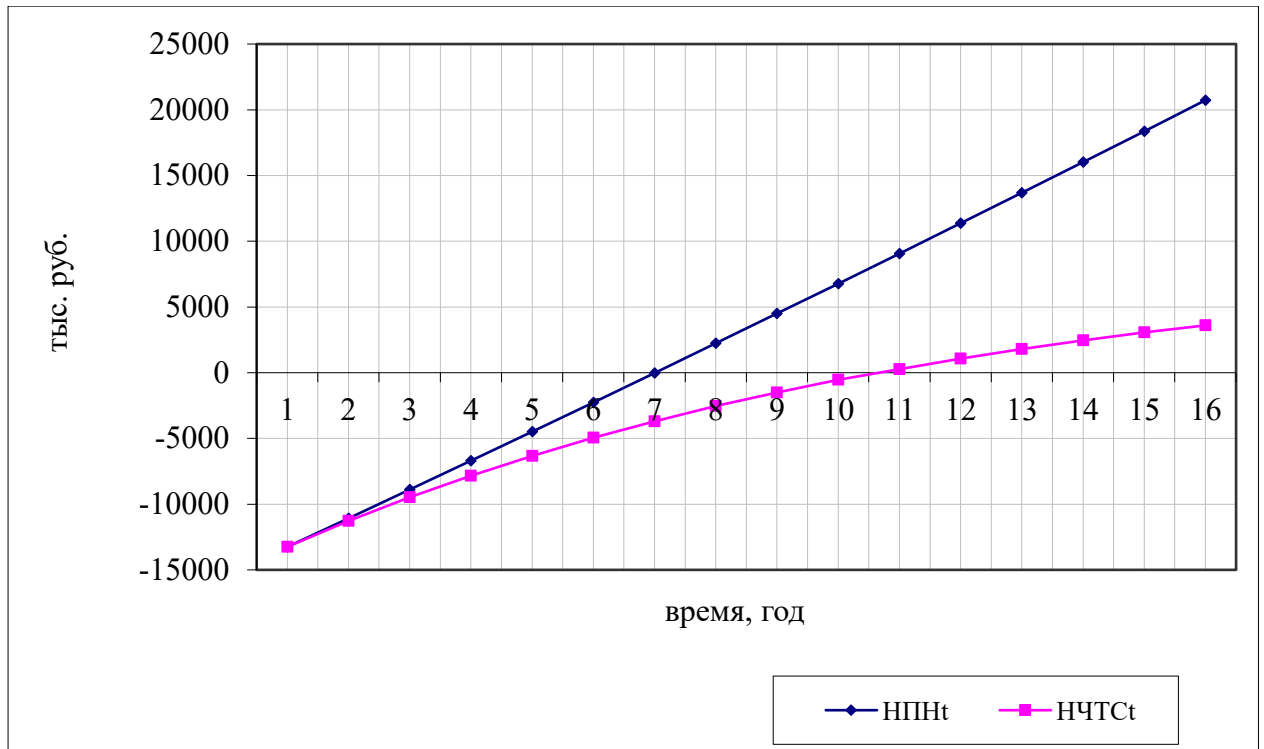


Рисунок 3. - График окупаемости инвестиций

Для данного проекта $ВКО = 14,5 \%$. Это значит, что коэффициент экономической эффективности капитальных вложений не должен быть выше $15,3\%$. В проекте $E = 10 \%$, т.е. для предприятия данный проект выгоден. По показателю ЧТС проект окупается через 10,5 лет, по ПН – 7 лет.

Заключение

Реализация представленных в работе технических решений позволит сохранить устойчивую работу оборудования обеих НПС при повреждении одного из трансформаторов, кроме того, за счет внедрение современного оборудования, приведет к снижению затрат на эксплуатацию электрооборудования.

Список использованной литературы

1. Виноградов А.В. К определению эффективности систем электроснабжения / А.В. Виноградов. - Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. - 2017. - № 7 (74). - С. 26—35.

2. Зацепина В. И. Зависимости показателей безотказности систем электроснабжения при возмущающих факторах / В.И. Зацепина. - Текст: непосредственный // Энергообеспечение и строительство: Сборник материалов III Международной выставки –Интернет-конференции. В 2 ч. Часть 1. Орел: Изд-во ООО ПФ «Картуш», 2009. С. 42–46.

3. Садуллаев Н.Н. Оценка эффективности системы электроснабжения по техническим показателям / Н.Н. Садуллаев. - Текст: непосредственный // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. –М.: 2009. –№9. – С. 27–30.

5. Степанов В. М. Определение исходных данных для повышения эффективности функционирования систем электроснабжения / В.М. Степанов, А.А. Шпиганович. - Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. №12–2. - С. 13–20.

Сведения об авторах

Манусов Вадим Зиновьевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Системы электроснабжения предприятий» Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск.

Иванов Геннадий Викторович, кандидат технических наук, доцент, кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета, г.Сургут.

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ И СРОКА СЛУЖБЫ
КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10кВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ
ELCUT**

Цицонь И.И.¹, Грачева Е.И.¹

*Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань,
Россия*

E-mail: honey.roditel@mail.ru

***Аннотация:** Актуальностью данного исследования является проведение анализа методики по расчету температурных параметров кабельных линий 10кВ и расчет сроков службы изоляции при различных условиях эксплуатации, а также выявление зависимостей, которые позволяют наиболее точно выбирать параметры кабелей при эксплуатации на объектах промышленности. Результаты исследования могут быть использованы для повышения энергоэффективности предприятий, а также помогают снизить число аварийных выходов из строя кабельных линий, которые могут возникнуть в следствие тепловых пробоев из-за неправильного выбора параметров кабелей при определенных условиях эксплуатации, что может стать причиной повышения затрат на производстве в целом. Представлены результаты расчетов температурных параметров кабельных линий напряжением 10кВ при различных способах прокладки, с различными типами изоляции и с различными коэффициентами загрузки по климатологии республики Татарстан. Произведены расчеты сроков службы кабельных линий при исследуемых условиях и сделаны выводы по оптимальным загруженностям кабелей, которые не приведут к преждевременному тепловому старению изоляции при определенных условиях эксплуатации.*

***Ключевые слова:** кабельные линии, расчет температурных параметров, старение изоляции, срок службы кабельных линий, визуализация температурных процессов, коэффициент загрузки.*

**METHOD FOR CALCULATING TEMPERATURE PARAMETERS
AND SERVICE LIFE OF 10 kV CABLE LINES IN THE ELCUT
SOFTWARE COMPLEX**

***Annotation:** The relevance of this study is to analyze the methodology for calculating the temperature parameters of 10 kV cable lines and calculating the service life of insulation under various operating conditions, as well as identifying dependencies that allow the most accurate selection of cable parameters during operation at industrial facilities. The results of the study can be used to improve the energy efficiency of enterprises, and also help to reduce the number of emergency*

failures of cable lines that may occur as a result of thermal breakdowns due to incorrect choice of cable parameters under certain operating conditions, which may cause an increase in production costs in general. The results of calculations of temperature parameters of cable lines with a voltage of 10 kV for various laying methods, with different types of insulation and with different load coefficients according to climatology of the Republic of Tatarstan are presented. Calculations of the service life of cable lines under the conditions under study have been made and conclusions have been drawn on optimal cable loads that will not lead to premature thermal aging of insulation under certain operating conditions.

Keywords: *cable lines, calculation of temperature parameters, insulation aging, service life of cable lines, visualization of temperature processes, load factor.*

Проведение расчетов в программном комплексе ELCUT

Для визуализации расчетов и определения теплового распределения внутри кабелей на напряжение 10кВ использован программный комплекс ELCUT. Данное программное обеспечение позволяет визуально оценить распределение температуры внутри кабеля на основании расчетных данных и оценить степень нагрева оболочки кабельной линии. Для проведения расчетов в качестве примера будем использовать кабели марки АВВГ-3х-70 напряжением 10 кВ при коэффициентах загрузки $k_{31}=0,7$ и $k_{32}=0,88$, чтобы оценить влияние этого параметра на нагрев жил кабеля.

В качестве результатов произведенных расчетов будут представлены температурные диаграммы рассеивания тепла с цветовым эффектом ранжирования температур. Структура диаграммы представлена в качестве трехжильного кабеля с многослойной оболочкой и разной степенью нагрева каждого из слоев.

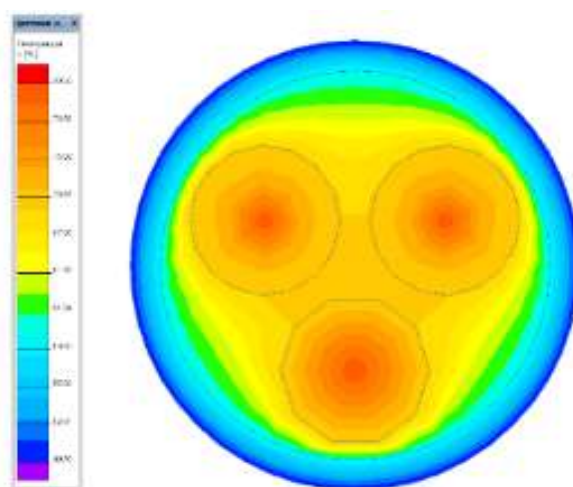


Рис. 1. Диаграмма термических процессов внутри кабеля АВВГ-3х-70 10кВ с $k_{3,1}=0,7$ при температуре окружающей среды 20 °С при прокладке в земле в трубе

Полученная диаграмма термических процессов позволяет визуально оценить, как происходит распределение температуры внутри оболочки кабеля и какие из точек способствует наибольшему нагреву, что может быть причиной ускоренной термической деструкции. Для наглядного анализа необходимо провести аналогичный расчет с другим коэффициентом загрузки, исходя из чего можно выявить зависимость температурного влияния от выбранного коэффициента загрузки кабельной линии. Расчеты проводятся для кабелей с одинаковым типом изоляции и при одинаковых условиях прокладки, для того, чтобы можно было сравнить результаты расчетов.

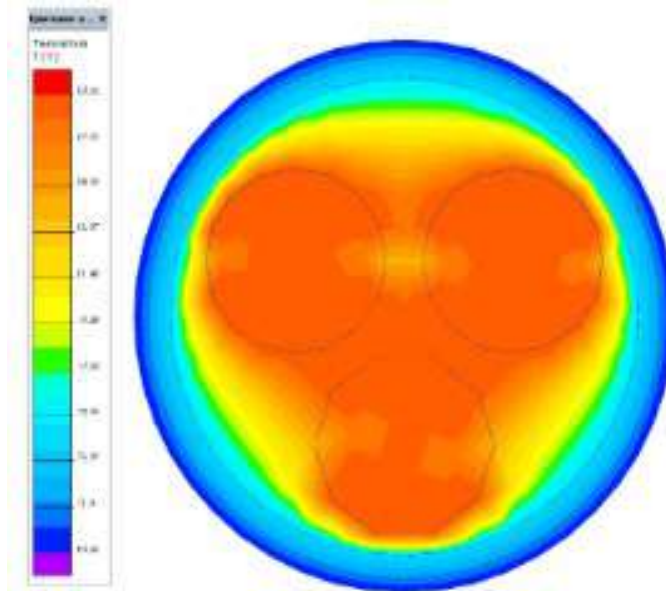


Рис. 2. Диаграмма термических процессов внутри кабеля АВВГ-3х-70 10кВ с $k_{3,2}=0,88$ при температуре окружающей среды 20 °С при прокладке в земле в трубе

Для контроля ранжирования температур по цветам используется шкала соответствия, представленная на рисунке 3. Красная зона соответствует температуре выше 80°С, оранжевая зона соответствует температурному диапазону 56-80°С, желтая зона соответствует температурному диапазону 42-56°С, зеленая зона соответствует температурному диапазону 35-42°С и голубая зона соответствует температурному диапазону ниже 35°С.

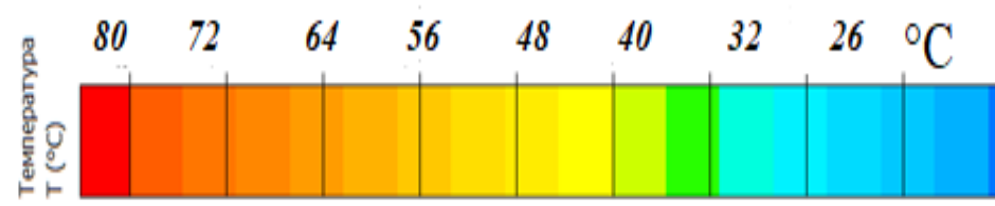


Рис. 3. Шкала соответствия ранжирования температур по цветам

В качестве результатов расчета для кабелей АВВГ-3х-70 с напряжением 10кВ и $k_{31}=0,7$, $k_{32}=0,88$ в программном комплексе Elcut были получены температурных диаграммы с указанием температур каждого из слоев исследуемого кабеля, а именно наибольший нагрев прослеживается вблизи токопроводящей жилы и ее оболочки, для $k_{32}=0,88$ это значение варьируется вблизи 77-79°C (вблизи красной зоны), для $k_{31}=0,7$ это значение варьируется вблизи 57-59°C (вблизи желто-оранжевой зоны).

С переходом от слоя к слою в сторону окружающей среды значение температуры жил кабеля падает, это можно отследить по шкале соответствия, представленной на рисунке выше. Точное значение изменения температур при переходе от слоя к слою оценить трудно, так как существуют погрешности при проведении расчетов. Нормативный срок службы кабеля составляет 30 лет или 262800 часов. Учитывая, что при перегрузке на 9% относительно допустимого $k_3=0,82$, изоляция из поливинилхлоридного пластика подвергается воздействию повышенной температуры 77-80°C, при этом срок службы кабеля снижается на 27-30% и составляет порядка 19-20 лет с учетом погрешности 5%.

Таким образом по проведенным в данном исследовании расчетам можно сделать вывод, что, согласно данным температурным диаграммам, кабель АВВГ-3х-70 10кВ с $k_{32}=0,88$ при прокладке в земле в трубе греется сильнее аналогичного кабеля АВВГ-3х-70 10кВ с $k_{31}=0,7$ на 19-21 °С с учетом погрешности применяемого программного комплекса 2-3°C.

Заключение

В результате исследования и проведенным расчетам в специальном программном комплексе можно сделать вывод, что для кабелей на напряжение 10кВ при прокладке в земле в трубе оптимальными режимами загрузки в зависимости от типа изоляции являются:

- 0,82 для кабелей с ПВХ-изоляцией;
- 0,81 для кабелей с изоляцией из полиэтилена;
- 0,73 для кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией.

При данных значениях загруженности кабельные линии на напряжение 10кВ при прокладке в земле в трубе не будут испытывать чрезмерного перегрева в процессе эксплуатации, что позволит предотвратить тепловое старение изоляции. Полученные коэффициенты загрузки позволяют наиболее точно выбрать режим работы кабеля на этапе проектирования.

Литература

1. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Алимова А.Н. Исследование и оценка потерь электроэнергии в системах внутрицехового электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019.Т. 11. №4(44). С. 22-29.

2. Грачева Е.И., Алимова А.Н. Возможные погрешности расчетов потерь электроэнергии в цеховых промышленных сетях // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 11-12. С. 81-92. DOI:10.30724/1998-9903-2018- 20-11-12-81-92.

3. Грачева Е.И., Наумов О.В. Исследование методов расчета электрических нагрузок цеховых систем промышленного электроснабжения // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 1 (52). С. 54-59.

4. Грачева Е.И., Гиззатуллина Е.Е. Анализ надежности цеховых сетей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2003. №5-6.

5. Федотов А.И., Грачева Е.И., Наумов О.В. Исследования показателей безотказности низковольтных коммутационных аппаратов электрических сетей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. №9-10.

Сведения об авторах

Цицонь Иван Иванович – аспирант Казанского государственного энергетического университета.

Грачева Елена Ивановна – д-р. техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского Государственного Энергетического Университета.

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Сидиков Х.З., Шарипов М.М. Джамшиедзода Х.
г. Душанбе, ТТУ имени академика М. С. Осими.
E- mail: shm100195@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается оптимизация режима реактивной мощности на стадии проектирования, реконструкции электрических сетей в энергосистемах с целью уменьшения активной потери электроэнергии при подключения компенсирующих устройств (КУ) в электрических сетях.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, компенсирующий устройств, распределительная сеть, электрических сетях.

THE MAIN TASK OF OPTIMIZING THE REACTIVE POWER MODE IN ENERGY SYSTEMS

Abstract: this article discusses the optimization of reactive power mode at the stage of design and reconstruction of electrical networks in power systems in order to reduce active losses of electricity when connecting compensating devices (CDs) in electrical networks.

Key words: reactive power compensation, compensating devices, distribution network, electrical networks.

Оптимизация режима реактивной мощности являются самое важное показатели для промпредприятия и электрических сетей, а также зависит от длины линии и ступенях напряжений, т.е. от класса напряжения в данном трассе сети. В промпредприятия потребления электроэнергии определяются своевременным обеспечением технологического процесса требуемым количеством электрической энергии заданного качества при наименьших потерях и при условии сохранения надежной устойчивой работы электроприемников. Проблема оптимизации режимов и параметров систем распределения и передача электрической энергии весьма сложна и многогранна. Основной задачи оптимизации параметры объектов приходится решать на стадии проектирования развития или конструкции электрических сетей (ЭС). В основном оптимизация режимов или параметров осуществляется при эксплуатации электрических сетей [1]. Проектирование сооружение объектов ЭС и их эксплуатация связаны с большими материальными затратами. За счёт это важно, чтобы эти затраты были использованы с наибольшей эффективностью.

В связи с этим следует отметить, что правильность решений по развитию систем передачи и распределения электрической энергии, принимаемых в какой-то момент, через достаточно длительное время может проявляться, когда допущенные ошибки исправить невозможно или очень трудно. Дополнительные трудности при выработке решения связаны тем, что обычно присутствует неопределенность недостаточная достоверности исходной информации. Например, заранее конкретно неизвестна перспективная нагрузка в каких-то узлах электрических сетей.

Основной решение таких задач задаются тремя уровнями электрических нагрузок (возможны наименьшим, средним и возможным наибольшим) и производят выбор и анализ параметров для всех этих уровней. Необходимо отметить, что окончательное решение принимают на основе описанных в специальной литературе и соответствующих приемов. Для оптимизации параметров и режим работы оборудование должна была заранее выбрана критерия оптимизации. При проектировании сетей решений выступает не один, а несколько критериев, т.е. обычно в качестве показателя эффективности приходится решать многоцелевую (многокритериальную) задачу. В качестве критериев в системах электроснабжения могут выступать следующий критериев: потери электрической энергии (ПЭЭ), капитальные затраты, пропускная способность электрической сети, степень надежности электроснабжения, ее степень воздействия на окружающую среду и др. Во многих литературах приведены методы решения многокритериальных задач электроэнергетики [3]. В простейшем случае многокритериальная задача сводится к однокритериальной в которой оптимизация режимов и параметров объекта осуществляется по одному критерию принятому за главный, а остальные критерии учитываются в виде ограничений. Задача оптимизация режимов и параметров в основном начинают решать уже стадии выбора и проверка основных проектных решений, таких, например, как выбор номинального напряжения сети (ЛЭП), конфигурации сети, площадь сечений их проводов и др.

При этом основная цель заключается в достижении требуемого технического эффекта (необходимых пропускной способности, качества напряжения, надежности электроснабжения, и т.д.) с минимально возможными денежными затратами. В зависимости от постановки задачи в качестве критерия эффективности используют один из критериев. Последнее выбора основных режимов и параметров для достижения заданного технического эффекта решается дополнительная (но не менее важная) задача применения каких-то дополнительных устройств и оптимизации их параметров, которая

преимущественно нацелена на получение дополнительного экономического эффекта. Этот эффект, прежде всего, достигается за счет снижения потерь электрической энергии, хотя попутно могут улучшаться и технические возможности электрической сети (приведём пример, повышение пропускной способности, надежности электроснабжения и т.п.). В условиях эксплуатации задачи оптимизации принципиально отличаются от проектных задач тем, что поиск наилучшего режима производится без дополнительных капитальных затрат. Поэтому в качестве наиболее общего критерия оптимизации выступают ежегодные издержки. Однако, учитывая, что ежегодные издержки состоят из постоянных отчислений от капитальных затрат и стоимости потерь электроэнергии, можно перейти от экономических к техническим критериям оптимизации. Если оптимизация режима электрической сети осуществляется за какой-то период времени, то в качестве критерия используют потери электрической энергии [2].

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i \rightarrow \min$$

где ΔW_i - потери электрической энергии в i -м элементе сети за рассматриваемый период; n - количество элементов сети.

В тех случаях, когда оптимизация режима производится для данного момента времени, может быть использован более простой критерий в виде потерь активной мощности.

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \rightarrow \min$$

где ΔW_i - потери мощности в i -ом элементе сети в рассматриваемый момент времени.

Известны многочисленные пути, направленные на оптимизацию параметров и режимов систем передачи или распределения электрической энергии (ЭЭ). Дадим перечень наиболее важных путей, связанных с улучшением параметров электрических сетей и реализуемых на стадии проектирования, реконструкции, модернизации электрические сети.

1. Увеличение номинального напряжения системообразующих и межсистемных линий электропередач.
2. Должно установить устройств поперечной и продольной компенсации в протяженных линиях электропередач.
3. В распределительных электрических сетях должно повисит номинального напряжения.

4. В системообразующих электрических сетях установка устройств компенсации реактивной мощности (КРМ).
5. Рациональная КРМ в сетях 6-10 кВ (в распределительных сетях) рис.1.
6. Установка устройств принудительного распределения мощностей в неоднородных замкнутых сетях.
7. В линиях для регулирования класса напряжения установить дополнительных устройств.
8. Должно заменить ЛЭП-и перегруженных проводов на сечение чуть большее.
9. Упорядочение мощностей (перемещение) трансформаторов в распределительных сетях.
10. Замена морально устаревших трансформаторов в распределительных сетях на трансформаторы с меньшими потерями мощности холостого хода.
11. Увеличение рабочей мощности установленных в сети синхронных компенсаторов (СК).
12. Установка на подстанциях более одного трансформаторов т.е. дополнительных параллельных трансформаторов.
13. Сооружение дополнительных линий или подстанций.
14. Уменьшение продолжительности сооружения линий и подстанций.
15. Оснащение действующих батарей конденсаторов (БК) устройствами автоматического регулирования их мощности.
16. Использование теплоты, отбираемой от трансформаторов подстанций.
17. Установка в электрических сетях накопителей электрической энергии.

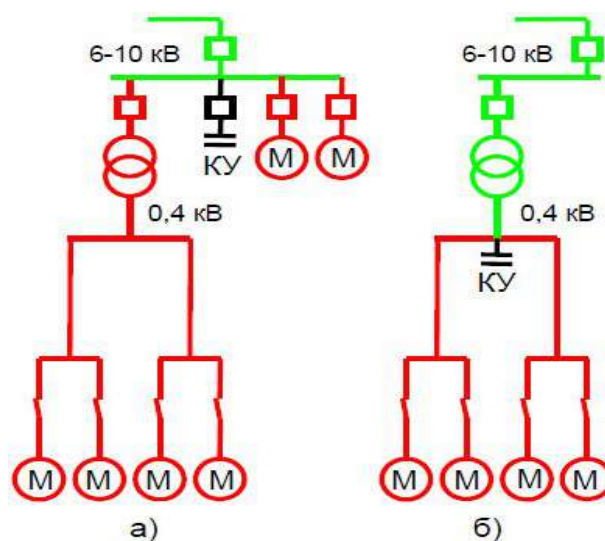


Рис.1. Схема подключения компенсации реактивной мощности у потребителей ЭЭ

- а) Централизованная на стороне высшего напряжения (10 кВ);
- б) Централизованная на стороне низшего напряжения (0,4 кВ).

Можно заключит, что потребители промпредприятия кроме активной мощности потребляют реактивная мощность, а выработка такого рода энергия осуществляют не только в электрических станциях, но и в специальных источников реактивной мощности в число которых входят: синхронный компенсаторы, статический конденсаторы и.т.д. При подключении в сеть КУ для компенсация реактивной мощности снизится потерь активной мощности в схемах электроснабжения и, естественно улучшают технико-экономические показатели данной схемы. Известны пути, направленные на оптимизацию параметров и режимов систем передачи и распределения энергии.

- Повышение номинального напряжения системообразующих и межсистемных ЛЭП.
- Установка устройств поперечной и продольной компенсации в дальних линиях.
- Увеличение номинального напряжения распределительных сетей.
- Установка КУ в системообразующих электрических сетях.
- Целесообразная компенсация реактивной мощности в распределительных сетях (РС).

Литература

1. Арион, В. Д. Компенсация реактивной мощности в условиях неопределённости исходной информации [Текст] / В. Д. Арион, В. С. Каратун, П.А. Пасинковский // Электричество. - 1991. - №2. - С. 6-11.
2. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах [Текст] /Ю. С. Железко. - М.: Энергоатомиздат, 1981. -200с.
3. Карпов, Ф. Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях [Текст] /Ф. Ф. Карпов. -М.: Энергия, 1975. - 184 с.
4. Шарипов М.М., Малиев Ш. Дж. Оптимизация режима реактивной мощности в системе электроснабжения промпредприятия//Материалы международной научно – прак. конференции: «Энергетика региона: состояние и перспективы развития» Часть 1- Душанбе, 20-21 декабря, 2019. стр., 247-250.

Сведения об авторе:

Сидиков Хомид Заробекович – старший преподаватель кафедры РЗ и АЭ ТТУ имени академика М.С Осими

Шарипов Мухаммади Миралиевич – ассистент кафедры “Релейная защита и автоматика” ТТУ им. Акад. М. С. Осими. Тел (+992) 988828763; E-mail: shm100195@gmail.com

ВОПРОСЫ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛА НАГРУЗКИ

Григорьев А. А., Иванова Е.В., Степанов А. А., Швайко В. В.
ФГБУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
(ФГБУ ВО СГУВТ), г. Новосибирск, Россия
E-mail: shura.goblin2013@yandex.ru

Электроэнергетическая система (ЭЭС) – часть общей энергосистемы, в которой производится, преобразуется, передаётся и потребляется электрическая энергия. Эта часть ЭЭС, непосредственно осуществляющая снабжение электрической энергией потребителей, является системой электроснабжения.

Параметры режима ЭЭС – показатели, определяющие работу системы (мощность, напряжение, ток, частота и т. д.). В результате изменения параметров, вызванных возмущающими воздействиями, возникают переходные режимы: нормальные и аварийные. Различают установившийся режим и нормальные переходные процессы, когда параметры режима изменяются в небольших пределах (колебание нагрузки и реакция на эти изменения регуляторов, нормальные эксплуатационные изменения схем коммутации и т.д.). Аварийные переходные процессы возникают при резких изменениях параметров (включение и отключение генераторов, короткие замыкания в элементах ЭЭС, отключение линий электропередачи, обрыв фаз, и т.д.). Характерны четыре режима:

- нормальный,
- аварийный,
- послеаварийный,
- ремонтный.

При этом аварийный режим является кратковременным, а остальные – продолжительными. Электрооборудование выбирается по параметрам продолжительных режимов и проверяется по параметрам кратковременных, определяющим из которых является режим короткого замыкания. По режиму короткого замыкания электрооборудование проверяют на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты на коммутационную способность.

Малые возмущения параметров есть и в установившемся режиме реальной ЭЭС и при этих возмущениях система должна быть устойчива.

Статическая устойчивость – способность системы восстанавливать исходный (или близкий к исходному) режим после малого его возмущения. Динамическая устойчивость – способность системы возвращаться в исходное

(или близкое к нему) состояние после большого возмущения системы. При определении статической устойчивости системы можно рассчитать предельные нагрузки по условиям статической устойчивости, а режим при этом будет предельным. В общем случае пропускной способностью элемента системы является наибольшая мощность, которую можно передать через этот элемент с учётом всех ограничивающих факторов (устойчивости, нагрева, критического напряжения в узлах и т. д.).

Для обеспечения безаварийной и устойчивой работы всех элементов системы электроснабжения важно правильно произвести выбор и настройку электрооборудования ещё на стадии расчёта и проектирования, предусмотреть все возможные режимы системы. Поэтому наряду с совершенствованием систем автоматического управления, увеличением мощности и надёжности коммутационных аппаратов необходим анализ переходных процессов, происходящих в системе. Изучение переходных процессов позволит понять причины возникновения и физической сущности явлений, узнать математическое выражение, описывающие эти явления, выявить практические критерии и методы их количественной оценки с целью прогнозирования и предотвращения опасных последствий этих процессов.

Из практики эксплуатации ЭЭС известно, что наиболее частыми причинами, вызывающими переходные процессы в системе, являются:

- включение и отключение асинхронных и синхронных электродвигателей большой мощности;
- включение и отключение нагрузки значимой мощности;
- короткие замыкания в элементах системы;
- обрыв фаз в линии;
- возникновение местной не симметрии.

Представляя переходные процессы математическими уравнениями при проведении расчётов режимов и устойчивости оценивают выполнение требований к устойчивости ЭЭС на основании показателей:

- минимального коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности ($K_{p \min}$) в контролируемых сечениях;
- минимального коэффициента запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки ($K_{U \min}$). Величины этих коэффициентов запаса для различных режимов регламентированы методическими указаниями по устойчивости энергосистем.

Переходные процессы обусловлены переходом ЭЭС из одного установившегося режима к другому и возникают в результате изменения параметров системы, вызванного возмущениями.

По результатам расчетов устойчивости ЭЭС в проектных и эксплуатационных организациях решаются следующие задачи:

- выбор основной схемы энергосистемы и уточнение размещения основного оборудования;
- определение допустимых режимов системы с расчётом параметров предельных режимов ($P_{пр}$, $U_{кр}$, и др.); определение значений коэффициентов запаса по мощности (K_p) и напряжению в узлах (K_U);
- выбор мероприятий по повышению устойчивости системы;
- определение параметров настройки систем регулирования и управления;
- разработка и уточнение требований к основному оборудованию системы, автоматике, систем регулирования по условиям устойчивости.

На устойчивость самой ЭЭС оказывает влияние устойчивость нагрузки в узлах нагрузки (местах подключения к системе отдельных потребителей электрической энергии). В нормальных режимах ЭЭС при малых его возмущениях возникает необходимость проверки статической устойчивости СД, АД, СК, больших групп АД, которые имеют мощность, соизмеримую с мощностью питающей сети. На режим электропотребления и на устойчивость узлов нагрузки оказывает влияние состав электроприемников и их параметры. Электроприемники предприятий делятся на группы:

- силовые общепромышленные установки;
- электродвигатели отдельных производственных механизмов;
- электротехнологические установки;
- электроосветительные;
- электронагревательные;
- преобразовательные.

Пуски электродвигателей, резкие колебания момента нагрузки на валу и др. приводят к изменениям значения и фазы напряжения в узле нагрузки. Особенно заметно проявляются такие явления в распределительных сетях (6-10) кВ и сетях до 1000 В, в виде колебания напряжения, что может существенно влиять на режим всей системы электроснабжения. Поэтому переходные процессы здесь рассматривают с точки зрения обеспечения надёжности и устойчивости как элементов, так и всей системы снабжения.

Статическую устойчивость узла промышленной нагрузки обычно рассчитывают в такой последовательности:

1. Замещают узел нагрузки расчётной мощностью (схемой замещения) и определяют её параметр (сопротивление, напряжение, мощность P, Q, S – расчётные или паспортные).

2. Выделяют существенные параметры (предельная мощность $P_{пр}$; напряжение в предельном режиме $U_{кр}$; предельное скольжение и др.) и критерии устойчивости для данной системы электроснабжения и электроприёмников.

3. Оценивают предельный режим по критическим значениям основных параметров и запасу устойчивости.

Требуемая точность расчета устойчивости зависит от конкретных решаемых и нужд эксплуатации и полноты исходных данных.

Ориентировочные расчёты устойчивости проводятся упрощенно в отношении схем замещения и расчётных условий.

Вид расчётной модели узла нагрузки определяют в зависимости от схемы реально исследуемого узла. Способ задания нагрузки определяются целью расчёта и характером электроприёмника. Обычно используют 3 вида математического описания нагрузки при расчете статической устойчивости.

1. Подробная математическая модель комплексной нагрузки при описании динамических электроприёмников – применяются для расчётов устойчивости в схемах с электродвигателями (СД, АД), схем автоматического управления и др.

2. Нагрузка с постоянным сопротивлением (или проводимостью вида $Z_H = r_H + jX_H$ -применяются в упрощенных расчётах статической и динамической устойчивости.

3. Статические характеристики комплексной нагрузки по напряжению и частоте ($P(s)$ при разных U ; $P(U)$; $Q(U)$ – применяются для оценки статической устойчивости (по критериям устойчивости) и для графического определения критических параметров.

Двигательная нагрузка (динамические электроприёмники) существенно влияет на статическую устойчивость и представляется в зависимости от числа двигателей в узле и мощности их:

- в узлах нагрузки с малым количеством мощных электродвигателей каждый из них учитывается своими уравнениями и параметрами движения;
- в узлах включающих в себя группы различных электродвигателей
- группы заменяют эквивалентным двигателем с расчётными параметрами.

Критерии статической устойчивости для различных элементов схемы замещения с графическим представлением ($\frac{d_p}{d_s} > 0$; $\frac{d_p}{d_u} > 0$; $\frac{d_Q}{d_u} > \dots$)

Запас устойчивости оценивается коэффициентами запаса:

- по мощности:

$$K_p = \frac{P_{пр} - P_0}{P_0}, \quad (1)$$

- по напряжению

$$K_u = \frac{U_0 - U_{кр}}{U_0}, \quad (2)$$

где K_u – коэффициент запаса по напряжению;

U_0 – напряжение в узле нагрузки в рассматриваемый период;

$U_{кр}$ – наименьшее напряжение на зажимах электродвигателя при котором он может работать с нагрузкой;

$P_{пр}$ – предельная мощность которую может развивать электродвигатель;

P_0 – текущая мощность

Они должны быть не ниже $K_{p\ min}$ и $K_{u\ min}$.

Проверим статическую устойчивость узла нагрузки при подключении к нему пожарного насоса с асинхронным электродвигателем и короткозамкнутым ротором. Рассмотрим установившийся режим работы АД и влияние на параметры изменений напряжения $U_{об}$. Определим критерии устойчивости и параметры предельных режимов.

Исследования проводились на ремонтной базе Новосибирского района водных путей. Принципиальная электрическая схема и схема замещения узла нагрузки представлен на рисунке 1.

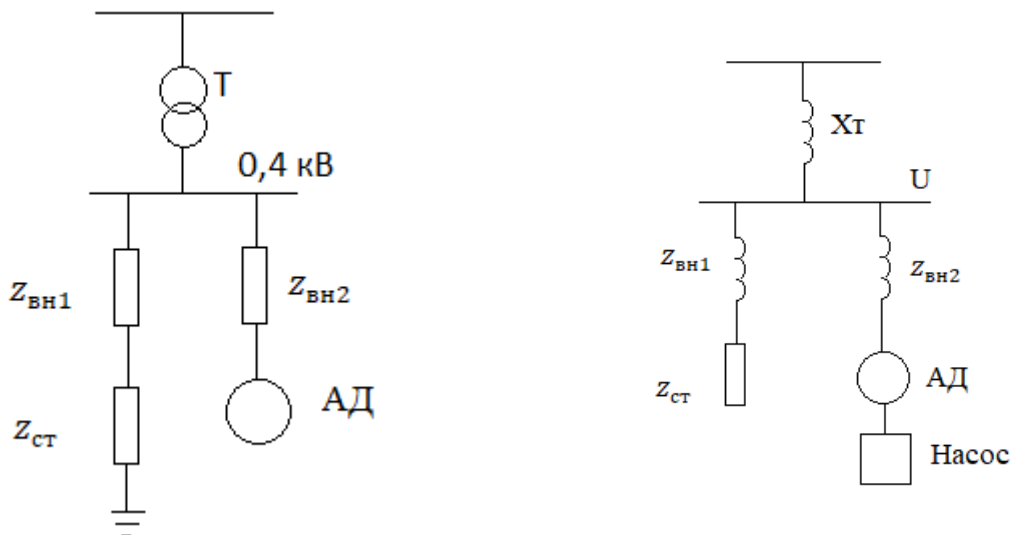


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема и схема замещения узла нагрузки

Мощность системы электроснабжения намного больше мощности нагрузки трансформатора (T), поэтому принимаем $U_c = const$. Асинхронный двигатель (АД) включается в работу при загрузке T меньше 40 %. Мощность

двигателя $P = 22$ кВт, $U_{ном} = 380$ В. Паспортные данные трансформатора и АД приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Паспортные данные трансформатора

$S_{ном}$, кВА	$P_{ном}$, кВт	$\cos\varphi$	Соед. обмоток	u_k , %	P_k , кВт	$I_{ном}$, А	r_T , МОм	x_T МОм
630	504	0,8	Звезда/звезда	5,5	7,6	910	3,1	13,6

Таблица 2 - Паспортные данные электродвигателя АИР 180-S4

$U_{ном}$	P_H	$n_{ном}$	I_H	$\cos\varphi$	η	$M_{max}/M_{ном}$	$M_{п}/M_{ном}$	$I_{п}/I_{ном}$
380 В	22 кВт	1470 об/мин	41,8 А	0,88	91 %	2,3	2,0	7

От трансформаторной подстанции до береговой электрической колонки проложен кабель ВВГ (4x70+1x35) мм², длиной 140 метров, $r_{к1} = 0,0438$ Ом, $x_{к1} = 0.0053$ Ом.

От береговой электрической колонки до электродвигателя проложен кабель КГ (3x35+1x25) мм², длиной 50 метров, $r_{к2} = 0,032$ Ом, $x_{к2} = 0.002$ Ом
Расчетные формулы для построения характеристики мощности $P=f(s)$ согласно [1, 2]:

Активная мощность, потребляемая электродвигателем из сети в установившемся режиме:

$$P_{дв} = \frac{I^2 * R_2}{s} = \frac{U^2}{X_s^2 + (\frac{R_2}{s})^2} * \frac{R_2}{s} = \frac{U^2 * R_2 * s}{X_s^2 * s^2 + R_2^2} = f(s) \quad , \quad (3)$$

где S – скольжение, независимая переменная; $P_{об}=\text{var}$ – условие подхода к пределу устойчивости; I , U – ток и напряжение двигателя; R_2 , X_s – активное сопротивление ротора и индуктивное сопротивление ротора и статора.

Максимальную мощность P_{max} определим как максимум кривой $P(s)$ по производной $\frac{dp}{ds} = 0$

$$\frac{dp}{ds} = U^2 * R_2 * \frac{R_2^2 - X_s^2 * s^2}{(R_2^2 + X_s^2 * s^2)^2} = 0 \rightarrow R_2^2 - X_s^2 * s^2 \rightarrow s = \frac{R_2}{X_s}, \quad (4)$$

Критическое скольжение (где $P_{дв} = P_{max}$)

$$s_{кр} = \frac{R_2}{X_{дв} + X_{вн}} = \frac{0,25}{1,65} = 0,152, \quad (5)$$

При учете сопротивления внешней цепи

$$P_{max} = P_{пред} = \frac{U^2}{2 * X_s} = \frac{380^2}{2 * 1,65} = 43,8 \text{ кВт}, \quad (6)$$

Строим характеристики мощности $P(s)$ при различных значениях U на зажимах электродвигателя ($U_{дв}=0,9 U_{ном}$, $U_{дв}=0,8 U_{ном}$, и т.д.). Данные расчета сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результат расчета

S	0,02	0,15	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	0,04
Р _{дв} , кВт при U _{ном} =380В	11,4	43,85	35,3	29,0	20,8	16	12,9	21,6
Р _{дв} , кВт при U=342В	-	35,52	28,6	23,5	16,8	12,96	10,5	17,5
Р _{дв} , кВт при U=304В	-	28,1	22,58	18,6	13,3	10,24	8,3	13,82
Р _{дв} , кВт при U=266В	-	21,5	17,3	14,2	10,2	7,84	6,35	10,6
Р _{дв} , кВт при U=285В	-	24,66	19,84	16,3	11,7	9,0	7,3	12,15

По полученным данным строим семейство характеристик $f = P(s)$ при различных напряжениях.

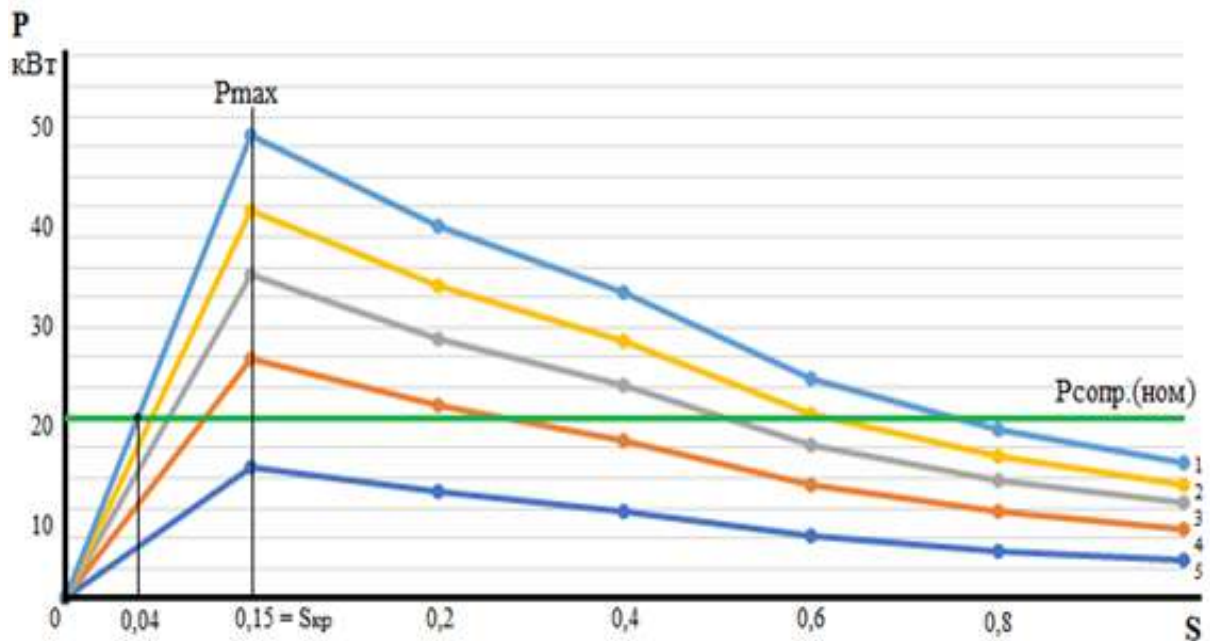


Рисунок 2 – Характеристики $f = P(s)$ при различных напряжениях:

1 – $U_{дв} = U_{ном}$; 2 – $U_{дв} = 0,9 * U_{ном}$; 3 – $U_{дв} = 0,8 * U_{ном}$;

$$4 - U_{дв} = 0,7 * U_{ном}; \quad 5 - U_{дв} = 0,75 * U_{ном}$$

Из характеристик $P_{(s)}$ видно, что устойчивая работа АД производится на отрезке кривой от $S = 0$ до $S_{кр}$, кроме четвёртой кривой ($U=0,7U_n$). Здесь $M_{max} < M_c \rightarrow$ критерий по статической устойчивости работы электродвигателя является выражение $\frac{dp}{ds} > 0$.

Определим коэффициенты запаса статической устойчивости по активной мощности при разных уровнях напряжения:

$$1. U_n=380 \text{ В}; \quad K_p = \frac{P_{max}-P_0}{P_0} = \frac{43,85-21,6}{21,6} = 1,03 > 0,2$$

$$2. U=0,9*U_{ном}; \quad K_p = \frac{35,52-21,6}{2,6} = 0,64 > 0,2$$

$$3. U=0,8*U_{ном}; \quad K_p = \frac{28,1-21,6}{21,6} = 0,3 > 0,2$$

$$4. U=0,7*U_{ном}; \quad P_{max} < P_c = P = 21,6 \text{ кВт}$$

$$5. U=0,75*U_{ном}; \quad K_p = \frac{24,7-21,6}{21,6} = 0,14 < 0,2$$

Заключение

При $U = 0,75U_{ном}$ двигатель с насосом может работать только в вынужденном и послеаварийном режимах.

При $K_p = 0,2$ при $P_c = 21,6$ кВт; $U_{кр} = 293$ В (P_{max} при этом=26 кВт)

Коэффициент запаса по напряжению для характеристики 3:

$$K_u = \frac{U+U_{кр}}{U} = \frac{380-304}{380} = 0,2 > 0,15, \quad (7)$$

С понижением напряжения на зажимах электродвигателя

1. Снижается предельная по статической устойчивости мощность потребляемая двигателем P_{max} ,

2. Уменьшаются коэффициенты запаса статической устойчивости по активной мощности в сечениях и коэффициент запаса по напряжению в узле нагрузки.

3. Необходимо разработать мероприятия по улучшении статической устойчивости.

Литература

1. Пилипенко, В.Т. Статическая и динамическая устойчивость энергосистем: методические указания / Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 32 с.

2. Хрущев Ю.В., Заповодников К.И., Юшков А.Ю. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие ; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 160 с.

3. Ситников, Н. В. Горемыкин С. А., Савельева Е.Л. Устойчивость электроэнергетических систем: учебное пособие – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2019. – 100 с.

Сведения об авторах

Григорьев А. А. – магистрант 3-го курса, группы 3-ЭСМ-211 кафедры «Электроэнергетических систем и электротехники», ФГБУ ВО СГУВТ.

Степанов А. А. – магистрант 3-го курса, группы 3-ЭСМ-211 кафедры «Электроэнергетических систем и электротехники», ФГБУ ВО СГУВТ.

Швайко В. В. – магистрант 3-го курса, группы 3-ЭСМ-211 кафедры «Электроэнергетических систем и электротехники», ФГБУ ВО СГУВТ.

Научный руководитель д.т.н. Иванова Е.В. кафедра «Электроэнергетических систем и электротехники», ФГБУ ВО СГУВТ.

ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ ПО ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ЭЭС ТАДЖИКИСТАНА

Эшов З.С.

Горно-металлургический институт Таджикистана, г. Бустон

Аннотация: Рассмотрен способ определения запасов статической и динамической устойчивости, предельные по статической и динамической перетоки мощности в сечениях энергосистемы сложной структуры. Представлены результаты вычислительных экспериментов по сопоставлению требуемых запасов статической и динамической устойчивости применительно к схеме ЭЭС Таджикистана.

Ключевые слова: статическая устойчивость энергосистемы, динамическая устойчивость энергосистем, коэффициент запаса устойчивости, нормативные возмущения.

ASSESSMENT OF THE RATIO OF LIMITING POWER FLOWS BY DYNAMIC AND STATIC STABILITY IN THE EPS OF TAJIKISTAN

Annotation: A method for determining the margins of static and dynamic stability, the limits for static and dynamic power flows in sections of a power system of complex structure is considered. The results of computational experiments to compare the required margins of static and dynamic stability in relation to the EPS scheme of Tajikistan are presented.

Keywords: static stability of the power system, dynamic stability of the power systems, stability safety factor, regulatory disturbances.

Одна из важнейших задач электроэнергетики – обеспечение устойчивости параллельной работы электростанций и электроэнергетических систем. Системные аварии, которые происходили в США, Канаде, Италии, Швеции, Англии, России, Таджикистана и других странах в 2003-2016 годах показал, что развитие режимов электроэнергетических систем опережает возможности средств предотвращения нарушения устойчивости и обеспечения живучести энергосистем.

В основу действующих методических указаний по устойчивости энергосистем нормирование положен принцип дифференцированного нормирования статической и динамической устойчивости энергосистем. Нормирование статической устойчивости в нормальном и послеаварийном режимах осуществляется с помощью коэффициентов запаса по активной мощности в сечениях и по напряжению в узлах электрической сети.

Коэффициент запаса статической устойчивости определяется соотношением показателей проверяемого (исходного) режима и показателей, характеризующих предельный режим по устойчивости. Нормирование динамической устойчивости энергосистемы осуществляется заданием списка нормативных возмущений, при которых динамическая устойчивость не должна нарушаться. Нормативные возмущения разделены на три группы согласно их степени тяжести и необходимости участия противоаварийной автоматики (ПА) в обеспечении устойчивости энергосистемы.

В соответствии с методическими указаниями, максимально допустимый переток мощности должен одновременно соответствовать нормируемому коэффициенту запаса статической устойчивости (20%) и не должен превышать предельного по динамической устойчивости перетока при всех нормативных возмущениях [1].

Сравнение запасов, требуемых по условию статической и динамической устойчивости. Для того чтобы оценить соотношение предельных перетоков мощности по динамической и статической устойчивости в ЭЭС Таджикистана были проведены следующие вычислительные эксперименты. В качестве расчетной модели использована многоузловая расчетная схема ЭЭС Таджикистана в режиме зимнего максимума 2022-2023 гг. ЭЭС Таджикистана - работает параллельно с 13 линий электропередачи на напряжении 500-220-110 кВ с ЭЭС Узбекистаном, ЭЭС Киргизии и ЭЭС Афганистана. Эквивалентная схема и выбранные контрольные сечения ЭЭС (на рис. 1 обозначены как Сечение I, II и III) показаны на рисунке 1. Вычислительные эксперименты выполнены с использованием программы MUSTANG.WIN, предназначенной для моделирования установившихся и переходных электромеханических режимов в энергосистемах.

В составе Сечения I – две ВЛ 500 кВ и три ВЛ 220 кВ. В составе Сечения II - две ВЛ 500 кВ и одна ВЛ 220 кВ. В составе Сечения III - четыре ВЛ 220 кВ.

Траектория утяжеления режима: увеличение нагрузки подстанции Регар с загрузкой генераторов Нурекской ГЭС. В качестве расчетных выбраны возмущения, входящие в первую и вторую группу нормативных аварийных возмущений: однофазное отключение ВЛ 500 кВ при однофазном КЗ с успешным и неуспешным ОАПВ, а также отключение ВЛ 500 кВ при двухфазном КЗ на землю с неуспешным АПВ.

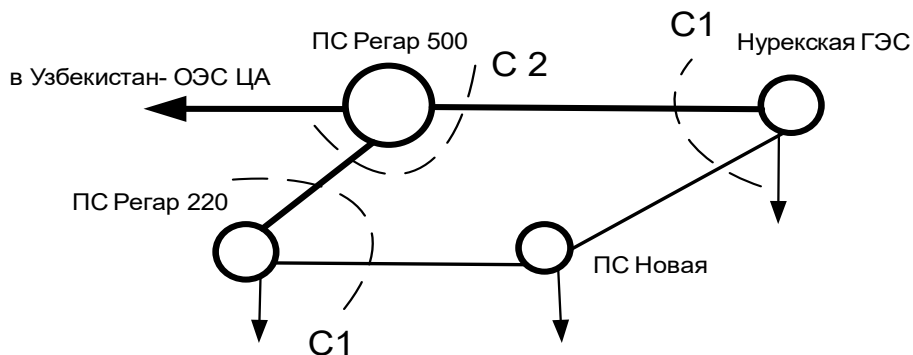


Рис.1 Эквивалентная схема и выбранные сечения ЭЭС Таджикистана

Перетоки мощности по сечениям, предельные по статической и динамической устойчивости, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение предельных по статической и динамической устойчивости перетоков мощности по сечениям

Предельный по статической устойчивости, переток активной мощности, МВт / Переток, соответствующий 8% запаса статической устойчивости, МВт						
сечение 1	сечение 2		сечение 3			
2654,9 / 2442,5	1911,5 / 1758,6		719,7 / 662			
Предельные по динамической устойчивости перетоки мощности						
Нормативные возмущения	Переток по сечениям, МВт			K _п		
	1	2	3	1	2	3
Однофазное отключение ВЛ 500 кВ при однофазном КЗ с успешным ОАПВ $t_{кз} = 0.12$ с; $t_{оапв} = 0.35$ с	2642,3	1886,1	689,2	8,1	7,25	4,1
Однофазное отключение ВЛ 500 кВ при однофазном КЗ с неуспешным ОАПВ $t_{кз} = 0.12$ с; $t_{оапв} = 0.35$ с	2519,5	1763,8	678,8	3,15	0,3	2,53
Отключение ВЛ 500 кВ ОРУНГЭС-ПС Регар при двухфазном КЗ на землю с неуспешным АПВ $t_{кз} = 0,12$ с; $t_{оапв} = 0.35$ с	2248,5	1493,8	655,7	-7,9	-15	-1

K_{π} - коэффициент превышения предельной по динамической устойчивости мощности над нормируемым в ПАР пределом по статической устойчивости (8%).

Выводы

1. Для эффективного использования гидроресурсов в ЭЭС Таджикистана необходимо осуществлять режим передачи электроэнергии с высокой загрузкой основной сети.

2. Для обеспечения устойчивости режимов ЭЭС с высокой загрузкой основной сети необходимо использовать противоаварийную автоматику (ПА), причем при отключениях ВЛ-500 кВ Нурекская ГЭС – ПС Регар управляющие воздействия должны быть достаточны для сохранения как статической, так и динамической устойчивости.

Литература

1. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены Минэнерго России от 30.06.2003 № 277

2. Касобов Л.С. Предотвращение нарушения устойчивости режима энергосистемы с преобладанием гидрогенерации (на примере энергосистемы Таджикистана): дис...канд.тех.наук: 05.14.02 / НГТУ. Новосибирск, 2009. 178с.

3. Чебан В.М. и др. Управление режимами электроэнергетических систем в аварийных ситуациях: Учеб. пособие для электроэнергет. вузов / В.М. Чебан, А.К. Ландман, А.Г. Фишов.-М.: Высш.шк., 1990.-144 с.:ил.

4. Структурный анализ электроэнергетических систем.: В задачах моделирования и синтеза / Абраменкова Н.А., Воропай Н.И., Заславская Т.Б.- Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1990.-224с.

Сведения об авторах:

Эшов Зулфон Субхонович – соискатель кафедры «Электроснабжения» Горно-металлургического института Таджикистана.

Тел.: (+992) 93-222-22-95. E-mail: zulfon.eshov@mail.ru

ҲИСОБ КАРДАНИ РЕЧАҲОИ РЕЗОНАНСӢ ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ, ҲАНГОМИ МАВҶУД БУДАНИ МАНБАӢҲОИ ГАРМОНИКАИ ОЛӢ

Саидбеков З.Ҳ¹., Ҷаборов М.К²., Қаямов А.Ғ².

¹Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

²Донишкадаи энергетикӣи Тоҷикистон

Аннотатсия. Дар мақола усули ҳисоб кардани реҷаҳои резонансӣ, ҳангоми мавҷуд будани манбаҳои гармоникаи олӣ пешниҳод карда шудааст. Басомадҳое, ки дар онҳо резонанс ба вуҷуд омада метавонанд, бояд муайян карда шаванд. Ҷенкунии нишондиҳандаҳои сифати энергияи электрикӣ тавсифдиҳандаи шакли қатъаттаи шиддат ва ҷараён мебошанд, бо истифода аз асбобҳои ҷенкунанда, гузаронида шудааст. Дар асоси муқоисаи натиҷаҳои ҳисоб ва дараҷаи воқеии гармоникаи олӣ дар шабакаҳои электрикӣ қарори аз ҷиҳати техникӣ асосан гузоштани дастгоҳҳои ҷубронкунандаи филтр барои кам кардани гармоникаи олӣ ва пешгирӣ кардани ҳолатҳои садама пешниҳод карда шудааст.

Калидвожаҳо: резонанси ҷараён, гармоникаи олӣ, сифати неруи барқ, батареяҳои конденсаторҳои статикӣ.

РАСЧЕТ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРИ НАЛИЧИИ ИСТОЧНИКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Аннотация. Представлена методика расчета резонансных режимов при наличии источников высших гармоник. Определены частоты, на которых возможно возникновение резонансов, для каждого класса напряжения. Проведены физические измерения уровней несинусоидальности с применением измерительных приборов. На основании сравнения результатов расчета и фактического уровня высших гармоник в электрической сети, принимается технически обоснованное решение по установке фильтрокомпенсирующих устройств для подавления высших гармоник и недопущения аварийной ситуации.

Ключевые слова: резонанс токов, высшие гармоники, качество электроэнергии, батареи статических конденсаторов.

Сифати энергияи электрикӣ аз ҷойгиршавии батареяҳои конденсаторҳои статикӣ (БКС) дар гиреҳҳои системаҳои таъминоти барқ (СТБ) вобастагии зиҷ дорад. Ҳангоми дар СТБ дорои бори ғайрихаттӣ, мавҷуд будани БКС боиси аз ҳад зиёд шудани ҷараён мешавад. Ин ҳодиса ба вуҷуд доштани ҳодисаи

резонанс дар ягон басомад дар шабакаҳои электрикӣ рабт дошта метавонад [6]. Табиист, ки дар сурати мавҷуд будани гармоникаи оӣ дар СТБ, ҳолати резонансӣ метавонад дар басомадҳои наздик ба басомадҳои як ё якчанд гармоникаи оӣ, ки дар СТБ мавҷуданд, рух диҳад. Резонанс вақте пайдо шавад, ки ноқилиятҳои индуктивии шабака ва ғунҷоишии БКС дар ягон басомад ба ҳам баробар шаванд. Дар ин ҳолат резонанси чараён ба вучуд меояд ва боиси зиёд шудани чараёни умумӣ мегардад ва он ба кори таҷҳизоти барқӣ, аз ҷумла БКС таъсири манфӣ мерасонад ва боиси аз ҳад зиёд гарм шудан ва барвақт аз кор баромадани онҳо мегардад [5, 7].

Дар [1] муаллиф, усули муайян кардани речаҳои резонансӣ дар гирехҳои шабакаҳои электрикӣ ва ҳисоби гармоникаи оӣ, ки дар он имконияти ба вучуд омадани резонанс мавҷуд аст, пешниҳод ва таҳлил карда шудааст.

Ҳодисаҳои резонансӣ ҳангоми иваз шудани конфигуратсияи шабакаҳои электрикӣ (пайваст ва ё хомӯш шудани БКС, хати интиқоли дигар элементҳои шабака) низ метавонанд ба вучуд оянд. Илова бар ин, ин ҳодиса на танҳо дар гармоникаҳои оӣ, ки тибқи ГОСТ 32144-2013 тавсия шудаанд, ба вуқӯ ояд, барки дар басомадҳои тартиби баланд ($n > 40$) низ вучуд дошта метавонанд. Дар [2], муаллифон тадқиқоте анҷом доданд, ки мавҷудияти резонансиро дар басомадҳои болотар аз гармоникаи 40 – ум нишон додаанд.

Натиҷа ва муҳокима

Нақшаи шабакаи таҳқиқшаванда дар расми 1 нишон дода шудааст. Ҳисоби речаҳои резонансӣ дар шабакаҳои электрикии шиддатҳои 110/35/6 кВ иҷро карда шудааст.

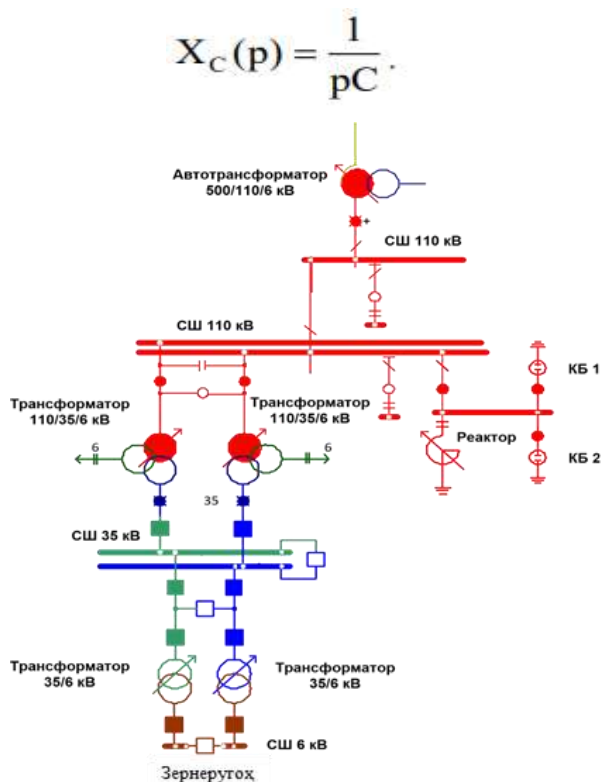
Дар шабакаҳои электрикии таҳқиқшаванда бори электрикӣ тавассути табдилдиҳандаҳои шиддат ба тахтасимҳои 0,4 кВ пайваст карда шудаанд. Барои баҳодихӣ ва имконияти ба вучуд омадани речаҳои резонансӣ (резонансҳои чараён) дар системаи тадқиқшаванда дар асоси нақшаи электрикии мавҷудбуда, нақшаи бадалии онро тартиб медиҳем. Нақшаи бадалии шабакаҳои электрикии таҳқиқшаванда дар расми 2 нишон дода шудааст.

Дар асоси нақшаи бадалии бадастомада, параметрҳои трансформаторҳо, хатҳои барқ ва борҳоро барои ҳисоб кардани речаҳо бо усули потенциали гирехӣ дар шакли операторӣ муодила тартиб медиҳем. Пеш аз иҷрои тағйирдиҳии нақшаи бадалӣ муқовиматҳои реактивиро (индуктивӣ ва ғунҷоишӣ) бо усули операторӣ нишон медиҳем.

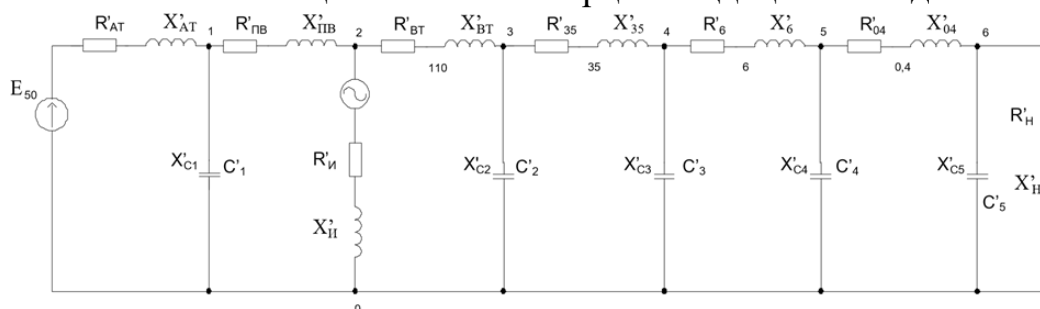
Муқовимати индуктивӣ бо усули операторӣ чунин намуд дорад:

$$X_L(p) = pL,$$

Муқовимати ғунҷоишӣ дар усули операторӣ чунин намуд дорад:



Расми 1. Нақшаи шабакаи барқии таҳқиқотшаванда



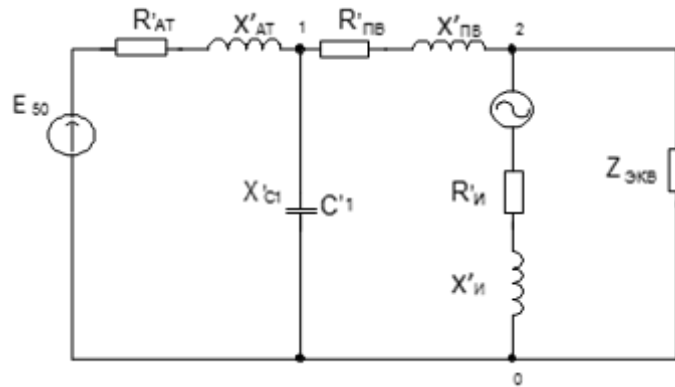
Расми 2. Нақшаи бадалии шабакаи барқии таҳқиқшаванда

Минбаъд, бояд амалиёти тағйирдиҳии тарафи рости нақшаи бадалиро нисбат ба гиреҳҳои «2» ва «0» иҷро карда шавад. Марҳилаи якуми табдилдиҳии нақшаи бадалиро мисол меорем. Дар баробари бори 0,4 кВ (бо шоҳаи фаъол-индуктивии занҷири бадалӣ - R_H , X_H ифода карда мешавад) як батареяи конденсаторҳои статикӣ пайваस्त карда мешавад, ки барои ҷуброни тавоноии реактивӣ (бо реактивии ғунҷоиши X_{C5} ифода карда мешавад) пайваस्त карда шудааст. Муқовимати натиҷавии ин қисмати шабака мувофиқи қоидаи пайвасти параллелии элементҳо бо усули операторӣ баробар аст ба:

$$Z_6 = \frac{\frac{1}{pC_5} (R_i + pL_i)}{\frac{1}{pC_5} + R_i + pL_i} = \frac{R_i + pL_i}{1 + pC_5R_i + p^2C_5L_i}$$

Амалҳои минбаъда, ки ба табдил додани нақшаи бадалии шабакаи барқӣ нигаронида шудаанд, ҳамин тавр бо истифода аз қоидаҳои табдил додани шохаҳои пайдарпай ва параллелӣ амалӣ карда мешаванд.

Дар натиҷаи табдилдиҳӣ тарафи рости нақшаи бадалӣ ҳамчун як муқовимати эквивалентӣ ($Z_{эқв}$) дар шакли операторӣ нишон дода мешавад. Дар қисми чапи нақшаи бадалӣ бошад, чунин элементҳо мавҷуданд: муқовимати фаъл ($R_{ат}$) ва индуктивии ($X_{ат}$) автотрансформатори дар зернеругоҳи 1 насбшуда ($ЗН - 1$), муқовимати фаъл ($R_{пв}$), индуктивӣ ($X_{пв}$) ва ғунҷоиши (C_1) ХИБ, ки пайваस्तкунандаи $ЗН - 1$ ва тахтасимҳои бахшии (ТБ) нуқтаи тақсимот (НТ) мебошад, муқовимати фаъл (R_M) ва индуктивии (X_M) манбаи гармоникаҳои оӣ ва манбаи таъминот (E_{50}). Нақшаи бадалии ба даст омада дар расми 3 оварда шудааст ва параметрҳои элементҳои он дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.



Рас.3. Нақшаи бадалии шабакаи таҳқиқшаванда баъди як қатор табдилдиҳиҳои эквивалентӣ

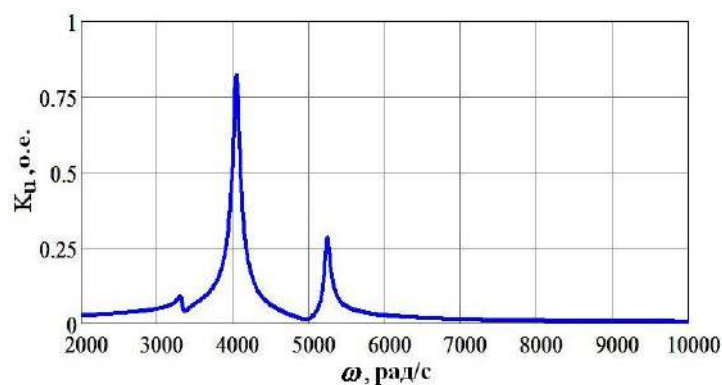
Ҷадвали 1

Параметрҳои элементҳои нақшаи бадалӣ

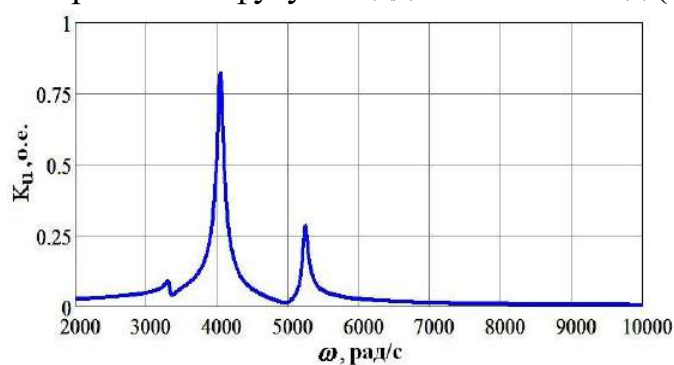
$R_{ат}, Ом$	$X_{ат}, Ом$	$R_{пв}, Ом$	$X_{пв}, Ом$	$C_1, Ф$
0,024	$5,949 \cdot 10^{-3}$	2,531	0,014	$8,593 \cdot 10^{-6}$

Системаи муодилаҳое, ки бо усули потенциалҳои гирехӣ барои нақшаи дидашаванда (расми 3) тартиб дода шудааст, чунин намуд дорад:

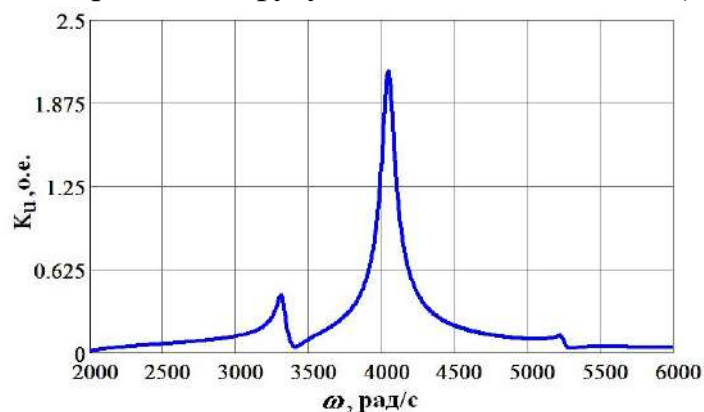
$$\begin{aligned}
 \phi_1(Y_{ат} + Y_{пв} + Y_{C1}) - \phi_2 Y_{пв} &= 0 \\
 \phi_2(Y_{пв} + Y_{BT} + Y_{H}) - \phi_1 Y_{пв} - \phi_3 Y_{BT} &= E_{H} Y_{H} \\
 \phi_3(Y_{BT} + Y_{35} + Y_{C2}) - \phi_2 Y_{BT} - \phi_4 Y_{35} &= 0 \\
 \phi_4(Y_{35} + Y_6 + Y_{C3}) - \phi_3 Y_{35} - \phi_5 Y_6 &= 0 \\
 \phi_5(Y_6 + Y_{04} + Y_{C4}) - \phi_4 Y_6 - \phi_6 Y_{04} &= 0 \\
 \phi_6(Y_{04} + Y_H + Y_{C5}) - \phi_5 Y_{04} &= 0
 \end{aligned}$$



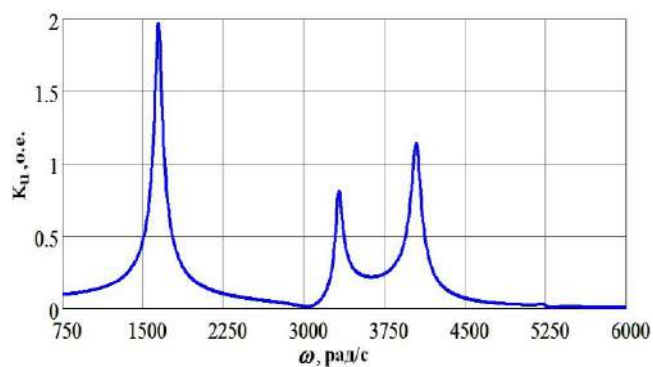
Рас.4. Вобастагии каратнокии фузуншиддатӣ аз басомад (шиддати 110 кВ)



Рас. 5. Вобастагии каратнокии фузуншиддатӣ аз басомад (шиддати 35 кВ)



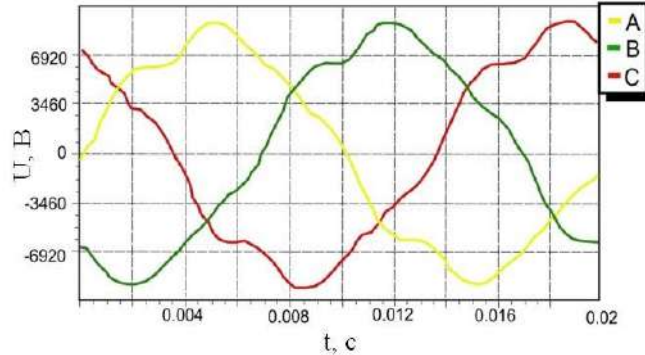
Рас. 6. Вобастагии каратнокии фузуншиддатӣ аз басомад (шиддати 6 кВ)



Рас. 7. Вобастагии каратнокии фузуншиддатӣ аз басомад (шиддати 0,4 кВ)

Вобастагии графикаи каратнокии фузуншиддатӣ аз басомад барои синфҳои гуногуни шиддат дар расмҳои 4 – 7 оварда шудаанд. Таносуби

максималии фузуншиддатӣ (K_U), басомадҳое, ки дар онҳо ҳолати резонансӣ имконпазир аст (f_p) ва тартиби ГО, ки дар басомадҳои он резонанс имконпазир аст (n) дар шиддатҳои гуногун (U) (дар нуқтаҳои гуногуни шабакаи таҳқиқшаванда) дар ҷадвали 2 нишон дода шудааст.



Рас.8. Осиллограммаи шиддат дар системаи тахтасимии 6 кВ

Аз ҷадвали 2 ва графикҳо (расмҳои 4 – 7) дида мешавад, ки речаи резонансӣ дар басомадҳои 258 Ҳс (наздиқ ба гармоникаи 5-ум), 537 Ҳс (наздиқ ба гармоникаи 11-ум), 638 Ҳс (наздиқ ба гармоникаи 13-ум) ва 844 Ҳс (гармоникаи 17-ум) мушоҳида мешавад. Ба ибораи дигар, дар ҳолати мавҷуд будани борҳои ғайрихаттӣ, ки гармоникаи 5, 11, 13 ва 17-ро дар шабака ҳосил мекунад, речаҳои резонансӣ мушоҳида мешавад.

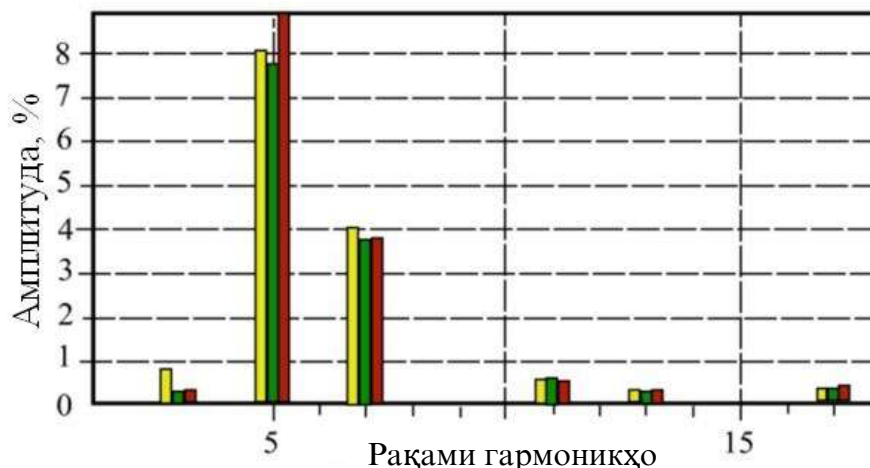
Ҷадвали 2

Гармоникҳои олие, ки дар наздикии онҳо резонанс имконпазир аст

U , кВ	K_U , о.е.	f , Ҳс	n
110	0,821	638	13
		537	11
		844	17
35	2,905	638	13
		258	5
		537	11
		844	17
6	2,1	638	13
		537	11
		844	17
0,4	1,97	258	5
		537	11
		638	13

Барои баҳодихии зарурати филтр кардани гармоникаҳои олий дар системаи таъминоти барқи таҳқиқшаванда (расми 1) ченкунии физикии

нишондиҳандаҳои сифати нерӯи барқ гузаронида шуд. Ченкунӣ мувофиқи ҳуҷҷатҳои меъёрии амалкунанда гузаронида шуд ва аз асбоби Fluke 435 истифода шуд. Ченкуниҳо дар системаи тахтасимии 6 кВ гузаронида шуданд, осиллограмма ва таркиби спектралии шиддат мутаносибан дар расмҳои 8 ва 9 нишон дода шудаанд.



Рас. 9. Таркиби спектралии шиддат дар системаи тахтасимии 6 кВ

Натиҷаҳои ченкунӣ нишон медиҳанд, ки дар шабакаи 6 кВ гармоника вучуд дорад, ки метавонад ба речаҳои резонансӣ ва фузуншиддати хатарнок оварда расонад. Барои ҳимояи шабакаҳои барқӣ ва кам кардани таъсири гармоникаҳои олий дар ин ҳолат филтрҳоро истифода бурдан лозим аст [3].

Хулоса

1. Шумора ва иқтидори борҳои электрикӣ, ки тавсифи волт-амперашон ғайриҳаттӣ аст, дар шабакаҳои барқӣ мунтазам меафзояд, ки ин дар ниҳояти қор боиси пайдо шудани ташкилдиҳандаи баландбасомади (гармоникҳои олий) чараён ва шиддат мегардад. Гармоникаҳои олии чараён ба зиёдшавии чараёни умумӣ дар қисмҳои чараёнгузар мегарданд ва дар ҳолатҳои резонансӣ метавонанд сабабгори пешаз муҳлат аз қор баромадани батареяҳои конденсаторҳои статикӣ ва ё ҳатто боиси садама гарданд.

2. Дар мақола усули ҳисоб кардани речаҳои резонансӣ дар шабакаи барқии 110/35/6 кВ оварда шудааст. Манбаҳои асосии гармоникаҳои олий дар шиддати 0,4 кВ нишон дода шудаанд.

3. Дар мақола вобастагии қаратнокии фузуншиддати аз басомад нишон дода шудааст, ки ин имкон медиҳад, басомадҳои резонансиро, ки боиси вайрон шудани таҷҳизоти электрикӣ мегарданд, муайян намоем.

Адабиёт

1. Коверникова, Л. И. Один из подходов к поиску резонансных режимов на высших гармониках / Л. И. Коверникова, С. С. Смирнов. – Текст: непосредственный // Электричество. – 2005. – № 10. – С. 62–69.
2. Николаев, А. А. Экспериментальные исследования электромагнитной совместимости современных электроприводов в системе электроснабжения металлургического предприятия / А. А. Николаев, Г. П. Корнилов, Т. Р. Храмшин, Г. Никифоров, Ф. Ф. Муталлапова. – Текст: непосредственный // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2016. – Т. 14, № 4. – С. 96–105.
3. Расчет резонансных режимов систем электроснабжения и разработка мероприятий по фильтрации высших гармоник / В. А. Ощепков [и др.]. – Текст: непосредственный // Промышленная энергетика. – 2018. – № 9. – С. 10–16.
4. Павлов, И. В. Изучение электромагнитной совместимости конденсаторных установок в системе электроснабжения ОАО «Ячинский НПЗ ВНК» при наличии высших гармоник / И. В. Павлов, О. А. Дружинин, Д. А. Скакунов, В. П. Твердохлебов, Ф. А. Бурюкин. – Текст: непосредственный // Технологии нефти и газа. – 2011. – № 1. – С. 41–43.
5. Atkinson-Hope, G. Decision theory process for making a mitigation decision on harmonic resonance / G. Atkinson-Hope, K. A. Folly // IEEE Transactions on Power Delivery. – Vol. 19, Issue 3. – Pp.1393-1399, July 2004. – DOI: 10.1109/TPWRD.2004.829142.
6. Osipov, D. S. Calculation of currents resonance at higher harmonics in power supply systems based on wavelet packet transform / D. S. Osipov, D. V. Kovalenko, N. N. Dolgikh // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics) (14–16 Nov, 2017) // IEEE Conference Publications. Omsk, Russia. – DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239492.
7. Huang, Z. A practical harmonic resonance guideline for shunt capacitor applications / Z. Huang, W. Xu, V. R. Dinavahi // IEEE Transactions on Power Delivery. – Vol. 18, Issue 4. – Pp.1382-1387, Oct 2003. – DOI: 10.1109/TPWRD.2003.817726.

Маълумот дар бораи муаллифон

Саидбеков Зикрулло Ҳабибуллоевич – докторанти PhD – и кафедраи “Нерӯгоҳҳои электрикӣ” – и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, тел.: +992 (98)720-33-07.

Ҷаборов Манучеҳр Камолович – саромӯзгори кафедраи “Нерӯгоҳҳои барқӣ” – и Донишқадаи энергетикӣи Тоҷикистон, e-mail: manuchehrjkm@mail.ru

Қаюмов Алишер Гаффарҷонович – номзади илмҳои техникӣ, саромӯзгори кафедраи “Нерӯгоҳҳои барқӣ” – и Донишқадаи энергетикӣи Тоҷикистон, e-mail: kaumov_ag@mail.ru.

СТАТИЧЕСКО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ РОТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Милютин Р.С.

Научный руководитель - Султонзода Ш.М.,
Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими,

Email: rustik23m@bk.ru

Аннотация. В статье приведены результаты измерения параметров обмотки ротора турбогенератора статическо-динамическим методом, дана оценка состояния межвитковой изоляции обмотки ротора, систематически работающего в маневренных режимах по реактивной мощности.

Ключевые слова: техническое состояние, турбогенератор, обмотка ротора, корпусная изоляция.

STATIC-DYNAMIC METHOD FOR ASSESSING TURN FAILURES IN THE ROTOR WINDING OF A TURBOGENERATOR

Annotation. The paper presents the results of measurement of turbogenerator rotor winding parameters by static-dynamic method, and gives an estimation of the state of interscrew insulation of the rotor winding systematically operating in maneuvering modes on reactive power.

Keywords: technical condition, turbogenerator, rotor winding, body insulation.

Надёжность работы генерирующего оборудования электростанции в целом зависит от своевременного выявления развивающихся в процессе эксплуатации дефектов, последствия которых обусловлены необратимым процессом старения слоёв изоляции.

Техническое состояние турбогенератора определяется техническим состоянием его основных узлов: сердечник и обмотка статора, обмотка и бандажные узлы ротора.

Эксплуатация показывает, что при выявлении дефектов на ранней стадии развития, своевременном и качественном их устранении, надлежащим ремонтном обслуживании в большинстве случаев турбогенераторы могут эксплуатироваться без снижения надёжности в течение времени, существенно превышающего минимальные сроки службы.

Нарушение вентиляции сердечника приводит к ухудшению технического состояния и сокращению срока службы генератора вследствие опасных перегревов конструктивных элементов статора и из-за теплового старения изоляции обмотки статора и ротора. В эксплуатации наблюдались случаи нарушения вентиляции из-за некачественного изготовления статоров и несоблюдения правил эксплуатации. Особую опасность нарушение вентиляции представляет для турбогенераторов с воздушным охлаждением, имеющих высокую тепловую нагрузку активных и конструктивных элементов.

Обмотка ротора работает под сравнительно низким электрическим напряжением, поэтому основное разрушающее воздействие на нее оказывают механические напряжения, перегревы, загрязнение и увлажнение. Вследствие термомеханических напряжений происходят повреждение витковой изоляции и укорочение витков. Перегревы, загрязнение и увлажнение снижают электрическую прочность корпусной и витковой изоляции. Перечисленные дефекты могут привести к аварийным отключениям и серьезным повреждениям ротора.

Измерение полного сопротивления обмотки ротора переменному току [2] и потерь мощности, сравнивая их с исходными (заводскими) или предшествующих значениям измерения является одним из наиболее чувствительных методов определения наличия межвиткового замыкания в обмотке ротора.

Замер произведён на турбогенераторе мощностью 150 МВт с воздушной системой охлаждения при статическом (неподвижном или вращающимся от валоповоротного устройства) и динамическом (на разных ступенях вращения) состоянии ротора. По мере увеличения скорости вращения сопротивление переменного тока обмотки ротора уменьшается, а потери увеличиваются.

Таблица 1

Значения сопротивления и потерь обмотки ротора
при разных скоростях вращения

Частота вращения, об/мин	0	500	1250	2300	3000
Напряжение, В	129,7	130,0	129,9	129,9	130,0
Ток, А	18,76	19,06	20,42	21,16	21,23
Полное сопротивление, Ом	6,914	6,820	6,357	6,140	6,121
Потери, Вт	1508	1537	1589	1637	1620
Частота, Гц	50,00	50,01	50,02	50,02	50,03

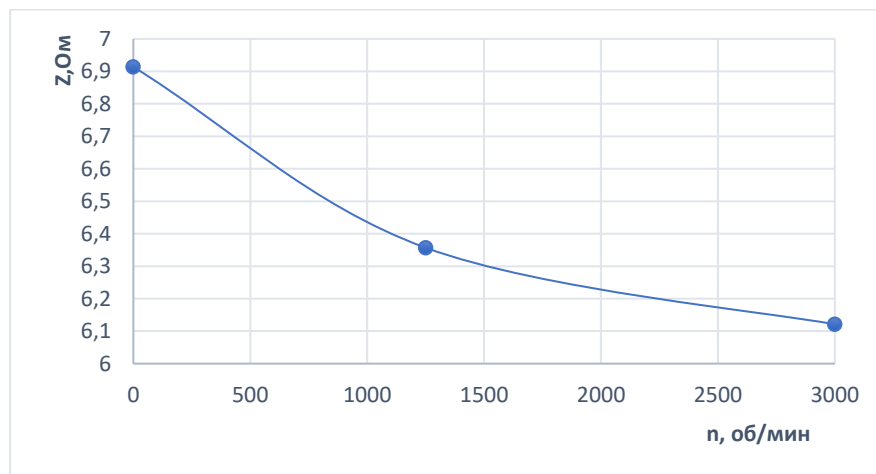


Рис. 1. Зависимость полного сопротивления обмотки ротора Z от скорости n

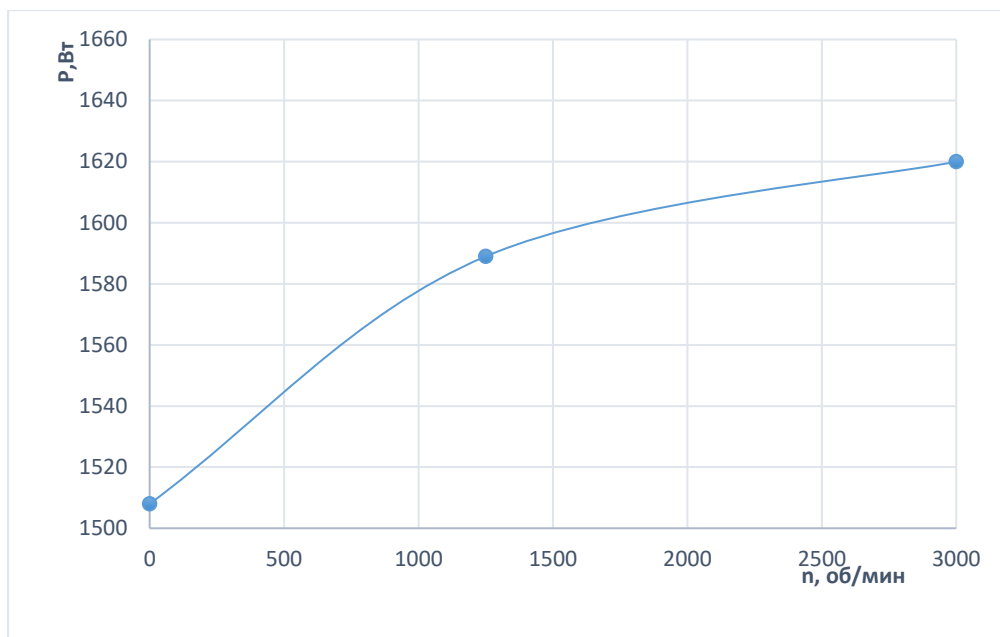


Рис. 2. Зависимость потери в обмотки ротора P от скорости n

Заключение

1. Анализируя полученные результаты и сравнивая с последними (допустимое отклонение не более 2 % [2]), СД методика позволяет оценить техническое состояние межвитковой изоляции, а также рассматривать, как эффективное мероприятие по повышению надежности и уровня эксплуатации, продлению срока службы роторов турбогенераторов без вывода в капитальных ремонт.

Литература

1. Правила формирования ремонтного фонда и организации технического обслуживания и ремонтов основных средств на предприятиях ОАХК «Барки Точик». - Д.: Изд-во «Рушной», 2003.- 84с.
2. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Стандарт организации ПАО «Россети». – 2017. – 262с.

Сведения об авторах:

Султонзода Ш.М – к.т.н., доцент кафедры “Электрической станции” ТТУ имени М.С. Осими, г. Душанбе.

Милютин Р.С – соискатель кафедры “Электрической станции” ТТУ имени М.С. Осими, г. Душанбе.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЕКАНИЮ ТОКА ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Сайфиддинзода О.С.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: odil0210@gmail.com

***Аннотация:** В статье приводятся методы измерения сопротивления растеканию тока заземляющих устройств при помощи старых и современных микропроцессорных многофункциональных приборов.*

***Ключевые слова:** электрические сети, компьютерное моделирование, параметры изоляции фаз сети относительно земли, дополнительная емкость.*

METHODS OF MEASUREMENT RESISTANCE TO CURRENT SPREADING OF EARTHING LEADERS

***Annotation:** The article provides methods for measuring the resistance to current spreading of grounding devices using old and modern microprocessor multifunctional devices.*

***Keywords:** grounding switch, current flow resistance, grounding device.*

Заземляющие устройства (ЗУ) характеризуются сопротивлением растеканию тока, которое может изменяться в зависимости от множества факторов. Важным фактором, влияющим на сопротивление растеканию тока заземления, является образование коррозии электродов. В соответствии с действующими нормативными документами коррозионно-устойчивые элементы заземления оцениваются после того, как вскрыт грунт над вертикальным и горизонтальным элементом, удельное сопротивление грунта растеканию тока и другие показатели.

В настоящее время существуют различные способы оценки состояния ЗУ. Наиболее распространённым способом измерения сопротивления растеканию тока заземлителей был признан измерение при помощи электромеханических мегаомметров. Принцип измерения при помощи механических мегаомметров приводятся ниже. Сопротивление заземлителей измеряют на переменном токе специальными приборами (измерителями заземлений) или методом амперметра и вольтметра.

Измеритель заземления МС-08 (см. рис. 1) содержит генератор постоянного тока Г, логометр Л с рабочей I и потенциальной II обмотками, преобразователи постоянного напряжения в переменное П1 и переменного напряжения в постоянное П2. Переменное напряжение между зажимом П1, подключенным к проверяемому заземлителю, и I2, подключенным к

вспомогательному заземлителю, вызывает протекание тока между заземлителями. Соответствующий этому переменному току постоянный ток протекает по токовой обмотке I логометра Л. Падение напряжения на проверяемом заземлителе вследствие протекания через него тока подводится через зажимы E1 и E2 к преобразователю П2 измерителя заземления и после выпрямления в нем к потенциальной обмотке II логометра. Прибор имеет три предела измерения: 0—1000, 0—100 и 0—10 Ом, устанавливаемых переключателем ПЗ. Для компенсации влияния сопротивления зонда на результаты измерения служит реостат Р.

При измерении сопротивления заземлителя прибор следует разместить вблизи от него и собрать схему (рис. 1, б). Провод, идущий к проверяемому заземлителю, должен быть возможно короче и сечением не менее 6—10 мм². Для подключения прибора к зонду и вспомогательному заземлителю нужно применять гибкие изолированные медные провода сечением не менее 1,5 мм.

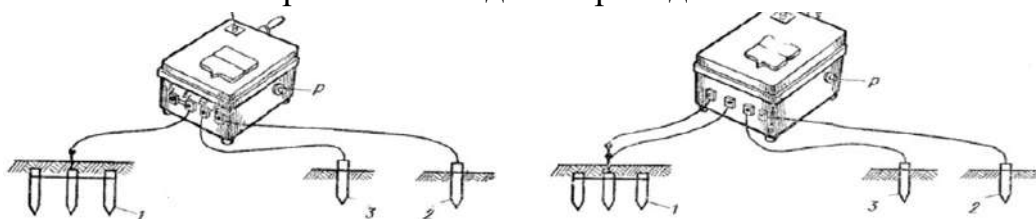


Рис.1. Измеритель заземления МС-08

Для компенсации сопротивления зонда переключатель ПЗ ставят в положение «Регулировка» и, вращая рукоятку прибора с нормальной частотой (120 об/мин), одновременно устанавливают реостат Р в такое положение, при котором стрелка логометра установится против красной черты [2].

Сопротивления заземлителей электроустановок раньше измерялись известными аналоговыми приборами М416, Ф4103 и др. Сейчас используются разные цифровые приборы с малыми погрешностями и удобными для эксплуатации. В качестве такого прибора можно использовать цифровой мегаомметр ИС-10 [1], MRU-105 и MRU-120.

В настоящее время в России для измерения сопротивления ЗУ и удельного сопротивления грунта используется цифровой современный прибор ИС – 10, так как он всем доступен, удобен для измерения и имеет большой диапазон измерения.

Измерение сопротивления ЗУ с помощью ИС-10 осуществляется по четырёхпроводному и трехпроводному методам [2]. Схема подключения токового и потенциального электродов прибора показана на рисунке 2.

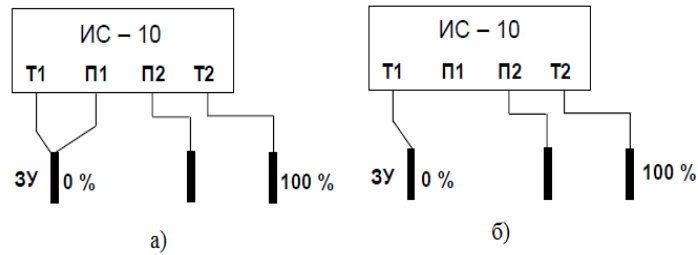


Рис.2. Схема измерения сопротивления заземления
а) четырёхпроводным методом, б) трёхпроводным методом

Выводы

Анализ методов и средств, приведенных в данной статье, показывает, что измерению сопротивления заземлителей можно произвести различными видами приборов. Сопротивления растеканию тока заземлителей является один из основных факторов сильно влияющих на состояние элементов заземляющего устройства.

При проведении испытания заземляющих устройств целесообразно измерять не только сопротивление проверяемого заземлителя, но также сопротивление зонда и вспомогательного заземлителя, занося эти данные в протокол испытания.

Литература

1. Абдуллоев, Р.Т. Методика и результаты исследования влияния различных факторов на процесс коррозии заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын // Матер LV межд. научно-техн. Конф. «Достижения науки – агропромышленному производству» . – Челябинск: ЮУрГАУ, 2016. – Ч. IV. 92–97.
2. Авдеева, К.В. Аппаратура для определения технического состояния заземляющих устройств / К.В. Авдеева, А.О. Иванова // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность: Матер. II всерос. Молод. науч. – техн. конф. / ОГТУ. Омск, 2009: Кн.1. С. 140–144.

Сведения об авторе:

Сайфиддинзода О.С. – PhD-докторант кафедры «РЗ и АЭ», ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА

Махмудов И.Х., Усмонов Х.И.

ГТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

Научный руководитель: к.т.н., доцент Султонзода Ш.М.

Аннотация: В статье описаны методы непрерывного онлайн-мониторинга воздушного зазора гидрогенератора, а также система, которая может интегрировать выходные данные с обычными эксплуатационными данными для обеспечения полного управления агрегатом. Поскольку практически каждая деталь конструкции гидроагрегата влияет на воздушный зазор генератора, предполагается, что мониторинг воздушного зазора повысит качество вибродиагностики.

Ключевые слова: Техническая диагностика, гидроагрегат, мониторинг, вибрация, воздушный зазор, ротор, статор

METHODS OF AIR GAP MEASUREMENT AND CONTROL

Abstract: Advanced online monitors are now available for most hydrogenerator components. These include stator windings, bearings, vibration, rotor windings and air gap. This article will describe continuous online air gap monitors and a system that can integrate their output with routine operational data to provide complete asset management. Since almost every design detail of a hydro unit affects the air gap of the generator, it is assumed that monitoring the air gap will improve the quality of vibration diagnostics.

Key words: Technical diagnostics, hydrogenerator, monitoring, vibration, air gap, rotor, stator

В ходе эксплуатации гидроагрегатов на гидроэлектростанциях основной задачей является обеспечение их надежной работы. Задача обеспечения надежности решается путем профилактических мер контроля и испытаний гидроагрегатов для раннего выявления и устранения дефектов, развитие которых может привести к аварийным отключениям агрегатов. Однако применяемые в настоящее время методы и средства обнаружения дефектов, особенно в режиме реального времени, не имеют достаточной эффективности, так как в них не в полной мере используются современные возможности.

Работы по созданию систем диагностики и прогнозирования состояния гидроагрегатов гидроэлектростанций находятся пока еще в начальной стадии. Для успешного их продвижения вперед необходимы глубокое изучение и систематизация причин и процессов возникновения и развития дефектов и признаков, а также, что не менее важно, ускорение разработок и организация промышленного производства ряда отсутствующих в настоящее время датчиков и устройств для выявления указанных дефектов.

Проблемой современной энергетики является также создание эффективного контроля вибрационного состояния гидроагрегатов, находящихся в эксплуатации. Наиболее прогрессивным решением здесь

является внедрение на ГЭС систем автоматической технической диагностики гидроагрегатов, которые позволяют выявлять дефекты и неисправности оборудования на ранней стадии их развития.



Как видно из таблицы одной из причин повышенной вибрации это неравномерное распределение воздушного зазора между ротором и статором.

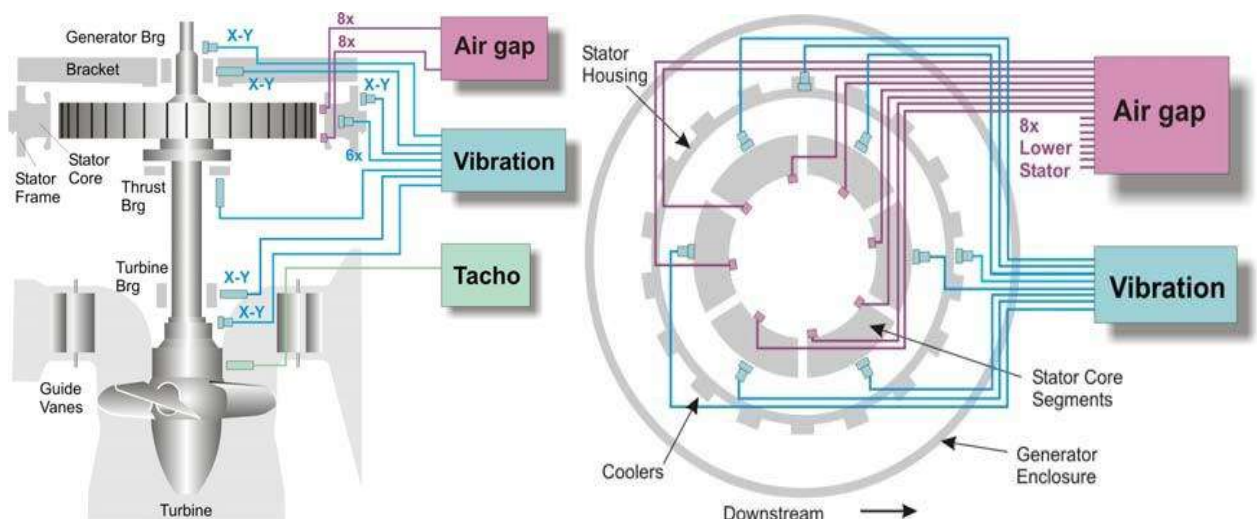


Рис. 1. Местонахождения датчиков в вертикальном гидроагрегате.

Воздушный зазор – это номинальная или измеренная величина между ротором и статором гидрогенератора. Генератор подвергается воздействию различных сил, включая центробежные и тепловые силы, вибрацию, магнитное и электрическое поле, геотехнические силы. Все перечисленные факторы могут

оказать большое влияние на генератор и воздушный зазор в долгосрочной перспективе. Возможными причинами неравномерного воздушного зазора могут быть конструкция генератора, эксцентриситет, дисбаланс, деформация вала, механический износ некоторых деталей, неисправности в системе возбуждения или охлаждения, силы (гидравлические, механические, магнитные) и колебания температуры. В долгосрочной перспективе даже качество фундамента гидроэлектростанции может привести к значительному изменению воздушного зазора. Возникновение осевых смещений или овальности может привести, по меньшей мере, к снижению эксплуатационных показателей электрических машин, а в более серьезных случаях вызвать их повреждение, вследствие электромагнитного нагрева или задевания ротора о статор.

Традиционные методы

Симметрию воздушного зазора оценивают с учетом статических и динамических форм, а также величин биения вала. При повышенном биении вала, связанном с наличием дефектов валопровода или узлов гидротурбинного оборудования («излом» вала, небалансы узлов в проточной части и др.), формы ротора и статора определяют после устранения причины биения вала. Статические формы ротора и статора определяют традиционным способом — измерением с помощью щупа при провороте ротора и стрелой — при вынутом роторе. Динамические формы ротора и статора определяют с использованием измерительных витков, устанавливаемых на сердечнике в нескольких сечениях по периметру статора, либо оптоэлектронным устройством, датчик которого устанавливают поочередно в выбранном количестве сечений статора.

Динамический мониторинг воздушного зазора – это современный диагностический инструмент, и он более эффективен, чем статический мониторинг воздушного зазора. Динамический мониторинг обеспечивает лучшую оценку технического состояния и позволяет лучше выявлять возможные неисправности.

Современные методы контроль и измерения

Точное определение величины воздушного зазора и геометрических параметров ротора и статора на неработающем генераторе невозможно, так как при этом должно учитываться совокупное воздействие центробежных, тепловых и электромагнитных сил. Раннее выявление отклонений от требуемых значений воздушного зазора позволяет эксплуатирующим службам до планового останова агрегата заблаговременно определять необходимость проведения ремонтных мероприятий, что обеспечивает возможность организации технического обслуживания на основе диагностического контроля состояния оборудования. Долгосрочные тенденции изменения воздушного зазора и геометрических величин могут анализироваться в сопоставлении с режимными параметрами и использоваться в целях планирования эксплуатационных режимов и восстановительных ремонтов. Информация о

геометрических параметрах ротора и статора и минимальной величине воздушного зазора необходима оперативному персоналу для своевременного принятия решений о заблаговременном выводе агрегата из работы до возникновения серьезных повреждений, как например, при задевании ротора о статор.

Воздушный зазор. Измерения воздушного зазора используются для определения геометрического состояния выравнивания генератора. Основной принцип прост: ротор и статор генератора должны быть круглыми, отвесными и концентрическими. Обычно при вводе генератора в эксплуатацию воздушный зазор проверяется до окончательного закрытия агрегата перед запуском. В дополнение к этим измерениям в автономном режиме система онлайн-мониторинга обеспечивает измерения в режиме реального времени, пока машина находится в рабочем состоянии, предоставляя дополнительное преимущество наблюдения за тем, как устройство изменяется в зависимости от центробежных сил, температуры и магнитной нагрузки. Существует множество причин деформации воздушного зазора генератора. Строительные дефекты, дефекты проектирования часто выявляются при строительстве и вводе в эксплуатацию. Систему онлайн-мониторинга можно использовать для ввода агрегата в эксплуатацию, но она также позволяет обнаруживать проблемы, отсутствующие в период ввода в эксплуатацию. Одной из причин неисправностей воздушного зазора являются температурные изменения. В больших генераторах обычно имеются плоскости скольжения, позволяющие нагреваться во время работы.

Статор. Датчики воздушного зазора, монтируемые на статоре, являются стандартным отраслевым методом измерения воздушного зазора. Измерение определяет форму ротора путем прямого измерения и, если оно выполнено правильно, также может дать представление о форме статора. Датчики монтируются непосредственно на стенку статора и измеряют расстояние между статором и ротором. Это обеспечивает непрерывное измерение зазора до ротора, а построение графика обеспечивает прямое измерение ротора. Установив несколько датчиков на статор и измерив зазор до ротора для каждого датчика, вы получите измерение того, насколько далеко каждый датчик находится от ротора. Это означает, что вы можете измерить расстояние статора от ротора в каждой точке, где установлен датчик. Датчики, монтируемые на статоре, являются наиболее распространенными, поскольку они предоставляют достаточный объем информации и легко устанавливаются. Негативным аспектом является то, что для точного определения формы статора требуется множество датчиков.

Ротор. Для более крупных генераторов статор часто имо более точное определение формы статора. Способ обеспечения этого заключается в сочетании как минимум одного датчика воздушного зазора, установленного на статоре, и одного датчика воздубывает более гибким и сложным по конструкции из-за размера и тепловых проблем. Для этих больших машин

необходимого зазора, установленного на роторе. Предпосылка измерения та же: датчик, установленный на статоре, сканирует профиль ротора на предмет вращения ротора, в то время как датчик, установленный на роторе, сканирует профиль статора. Это измерение имеет множество преимуществ, включая меньшее количество установленных датчиков и гораздо большее разрешение формы статора. Датчики, установленные на роторе, обеспечивают измерения, аналогичные датчикам, установленным на статоре: показания максимального, минимального и среднего воздушного зазора, но вместо номеров полюсов они дают местоположение минимума и максимума в градусах от любой выбранной вами модели машины.

Наиболее распространенными диагностическими симптомами неравномерного воздушного зазора в тематических исследованиях других авторов являются смещение вала, вибрация рамы статора, вторая гармоника вибрации сердечника статора, повышенная амплитуда первой гармоники спектра подшипников, неравномерное магнитное поле, износ или трещины в конструктивных элементах, дефекты изоляции обмоток, трещины в соединении полюсов ротора с ободом, коррозия сердечника ротора или статора, неравномерный прогрев или неисправности подшипников.

Из-за больших габаритов трудно обеспечить идеальную центровку гидроагрегата; в то же время усилия, возникающие из-за неравномерного воздушного зазора, могут серьезно повлиять на производительность генератора. Исследования показывают, что регулярное измерение воздушного зазора генератора рекомендуется как в каталоге «Наилучшая практика» по техническому обслуживанию гидроагрегата, так и в общей документации по модернизации гидроагрегата.

Список литературы

1. Мамиконянц Л.Г., Элькинд Ю.М. Обнаружение дефектов гидрогенераторов. - Москва Энергоатомиздат 1985.
2. Алиомаров А.Г. Повышение эффективности эксплуатации оборудования ГЭС за счёт введения автоматизированной системы контроля и оперативной диагностики состояния агрегатов: Автореф. дисс. канд. тех. Наук.- Москва: МЭИ, 2005.
3. Непрерывный интегрированный онлайн-мониторинг гидрогенераторов Грег Стоун*, Младен Сасич, Блейк Ллойд Рэй Дженсен Айрис Пауэр, Торонто, Канада GE Energy, Минден, США. 2010– 144 с.
4. Стационарно установленная система мониторинга вибрации и воздушного зазора на гидроэлектростанции. Michael Hastings Brüel & Kjaer Vibro 2005
5. Современная система контроля и диагностики турбо-и гидрогенераторов СТК– ЭР // Энергетика и промышленность России. № 12 (152) июнь 2010 года. – С. 17.

Сведения об авторах

Махмудов И.Х. – докторант PhD 2-го года кафедры «Электрические станции», ТТУ имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Усмонов Х.И. – соискатель кафедры «Электрические станции», ТТУ имени М. С. Осими, г. Душанбе.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И МЕТОДЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Зоиров А.С., Наимов С.Х., Рахматов Р.Дж.
ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

Аннотация: *Одной из важнейших характеристик линии электропередачи является ее пропускная способность, так как она определяет экономические показатели и роль линии в энергосистеме. Чем выше мощность, тем лучше экономические характеристики линии и тем большее влияние она может оказывать на режим всей системы и надежность ее работы.*

Ключевые слова: *Установившегося режим работы, пропускная способность ЛЭП, волновое сопротивление.*

CAPACITY OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES AND METHODS FOR ITS INCREASE

Abstract: *One of the most important characteristics of a power transmission line is its throughput, as it determines the economic performance and role of the line in the power system. The higher the power, the better the economic characteristics of the line and the greater the impact it can have on the operation of the entire system and the reliability of its operation.*

Key words: *Steady-state operating mode, transmission line capacity, characteristic impedance*

Анализ разветвленных цепей можно значительно упростить, если воспользоваться специальными методами расчета сложных цепей, такими как: метод Гаусса, итерационный метод Зейделя, итерационный простой метод, матрица собственных и взаимных сопротивлений узлов, метод Ньютона и др. Целью каждого метода является решение системы линейных или нелинейных уравнений узловых напряжений.

Установившимся режимом (УР) электрической цепи при постоянных источниках тока и напряжения называют такое состояние, при котором ток в любой ветви и напряжение в любом узле остаются неизменными в течение сколь угодно длительного времени [1].

Линейными уравнениями установившегося режима называются линейные алгебраические уравнения, описывающие УР цепей, содержащих только линейные пассивные элементы (R , X , L , C не зависящие от I и U в них) и постоянные по модулю и фазе источники тока.

Ширина полосы пропускания является одной из важнейших характеристик передачи электроэнергии, поскольку она определяет экономические показатели и роль линии в электроэнергетической системе. Чем выше пропускная способность, тем лучше экономические характеристики линии и тем большее влияние она может оказать на режим всей системы и надежность ее работы. Поэтому усилия исследователей, проектировщиков и инженеров, работающих в области передачи электроэнергии, всегда были

направлены на увеличение пропускной способности линий электропередачи [2].

При рассмотрении проблемы пропускной способности необходимо различать пропускную способность отдельной линии, пропускную способность всей передачи в целом и пропускную способность поперечного сечения по отношению к соединению. Однако пропускная способность и поперечное сечение в конечном итоге будут определяться пропускной способностью отдельных линий. Поэтому в будущем пропускная способность одной линии будет рассматриваться в основном [3].

Пропускная способность электропередачи

Пропускная способность линии - это наибольшая активная мощность, которую можно передать по линии, с учетом всех возможных ограничений таких как: ограничения по длительно допустимым токам проводов линий электропередач, конечных и промежуточных устройств (трансформаторов, выключателей, УКРМ и др.), ограничения уровней напряжения и устойчивости параллельно работающих энергосистем.

Максимальная мощность, передаваемая по идеализированной линии (без потерь), определяется следующим выражением:

$$P_{max} = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_B \cdot \sin \lambda'}, \quad (1)$$

где Z_B - волновое сопротивление ЛЭП, Ом;

λ - электрическая длин линии, равная произведению коэффициента фазы ($\beta \approx 1,07 \cdot 10^{-3}$ рад/км) и длины линии электропередач.

Для относительно коротких линий электропередач передаваемая мощность по линии определяется выражением:

$$P_{max} = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_l} \sin \delta, \quad (2)$$

где U_1, U_2 - напряжения по концам линии, кВ;

X_l - индуктивное сопротивление линии, Ом;

δ - угол между векторами U_1 и U_2 .

На рисунке 1 показана векторная диаграмма и угловая характеристика линии, которая представляет собой зависимость передаваемой мощности от угла δ и имеет форму синусоиды. Амплитуда этой синусоиды P_m определяет максимальную мощность, которую можно передать по линии в соответствие с ее электромагнитными свойствами; $P_{нб}$ - наибольшая мощность, которая может передаваться по линии, с учетом коэффициента запаса по статической устойчивости. Также пунктиром показана угловая характеристика линии большей длины. Величины P_0 и δ_0 - мощность и угол исходного режима.

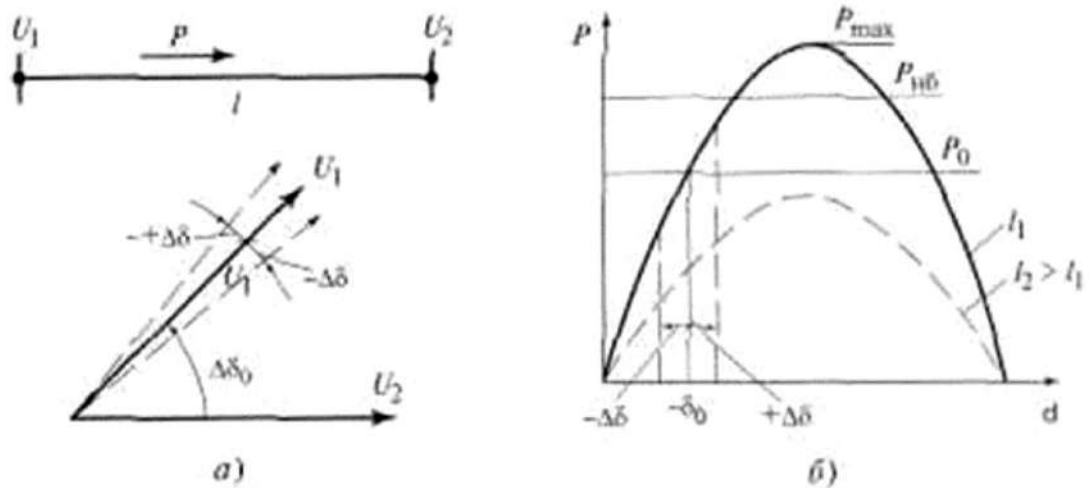


Рис. 1 – Зависимость мощности, передаваемой по линии, от угла δ :
а) линия и ее векторная диаграмма; б) угловая характеристика линии

Учет требований по обеспечению статической аperiodической устойчивости работы связываемых систем осуществляет за счет введения в (1) и коэффициента запаса ($k_3 < 1$) и снижения передаваемой по линии мощности. В результате этого значение наибольшей передаваемой мощности P_{nb} будет составлять:

$$P_{nb} = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_B \cdot \sin \lambda'} \cdot (1 - K_3), \quad (3)$$

$$P_{nb} = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_l} (1 - K_3). \quad (4)$$

Когда мощность передается по линии, токи в фазах могут превышать допустимые значения условий нагрева проводов, что приведет к их провисанию и возможности пробоя воздушного зазора между проводом и землей. Поэтому при определении максимальной передаваемой мощности по линии следует учитывать ограничение на нагрев проводов.

При определении емкости, помимо допустимых токов для нагревательных проводов, необходимо учитывать допустимые токи всего коммутационного оборудования, к которому подключена эта линия (разъединители, переключатели, трансформаторы тока и т.д.). Поэтому для относительно коротких линий пропускная способность обычно ограничена допустимыми токами коммутационного оборудования и условиями для нагрева проводов.

Минимально допустимым КПД линии обычно принимают значение, равное 90 %, которое в условиях нормального режима может быть принято только для очень протяженных линий электропередачи. При средних длинах линий (300-400 км), значение КПД может приниматься для послеаварийных режимов. Так как при крупных системных авариях в целях сохранения живучести системы по линии может передаваться значительная мощность в течение достаточно длительного времени.

Основными факторами, ограничивающими пропускную способность линий являются:

- ✓ электромагнитные свойства линии;
- ✓ статическая и динамическая устойчивость связываемых систем;
- ✓ допустимый нагрев проводов;
- ✓ допустимые токи оборудования;
- ✓ минимально допустимый КПД линии;
- ✓ максимально допустимые значения напряжения по концам линии.

Способы повышения пропускной способности линий электропередач

Меры, по повышению пропускной способности линий, необходимо принимать, в том случае если она оказывается недостаточной. Часто в таких случаях прибегают к увеличению количества цепей линии. Но такой способ является дорогостоящим и требует дополнительного отвода земли. Поэтому необходимо искать пути повышения пропускной способности отдельных линий и электропередач в целом. Основываясь на (2), к таким путям можно отнести:

- ✓ повышение номинального напряжения;
- ✓ изменение волнового сопротивления линии;
- ✓ уменьшение значения коэффициента $B_{\text{э}}$ эквивалентного четырехполюсника.

Список литературы

1. Тиходеев Н. Н. Передача электрической энергии. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, ЛО, 1984. 248 с.
2. Федин В. Т., Головач Ю. Д., Селиверстов Г. И., Чернецкий М. С. Электропередачи переменного тока повышенной мощности. Минск: Наука і тэхніка, 1993. 224 с.
3. Чехов В. И. Пути и способы повышения пропускной способности линий электропередачи. М.: МЭИ, 1991. 56 с.

Сведения об авторах

Зоиров А.С. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Наимов С.Х. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Рахматов Р.Дж. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Надиоров У.Н., Нурализода А.Н., Тимерова М.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Султонзода Ш.М.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Аннотация: В статье приведены методы анализа вибрационных сигналов как ключевой инструмент для обнаружения неисправностей во вращающемся оборудовании. Фокусируясь на традиционных методах (анализ во временной и частотной областях) и новых подходах исследование направлено на оценку их применения, преимуществ и ограничений. Признавая важность проактивного обслуживания, данное исследование стремится внести вклад в разработку более точных и эффективных методов обнаружения неисправностей.

Ключевые слова: анализ вибрационных сигналов, обнаружение неисправностей, вращающееся оборудование, предиктивное обслуживание, анализ во временной области, анализ в частотной области.

STUDY OF VIBRATION SIGNAL ANALYSIS METHODS FOR DETECTION OF FAULTS

Abstract: This paper investigates the methods of vibration signal analysis as a pivotal tool for early fault detection in rotating machinery. Focusing on both traditional techniques (time-domain, frequency-domain analyses) and emerging approaches (wavelet transforms, machine learning algorithms), the study aims to evaluate their applications, strengths, and limitations. Recognizing the significance of proactive maintenance, the research seeks to contribute to the development of more precise and efficient fault detection methods.

Keywords: vibration signal analysis, fault detection, rotating machinery, predictive maintenance, time-domain analysis, frequency-domain analysis.

Вращающиеся механизмы являются ключевыми для промышленных процессов и производства энергии, требуя тщательного внимания для достижения оптимальной производительности. В данной статье рассматриваются методологии анализа вибрационных сигналов, с акцентом на гидроэлектростанциях и энергетических производственных объектах. Исследование оценивает традиционные и новые методы с целью внесения вклада в разработку надежных техник обнаружения неисправностей. Метод контроля вибрации, важный мониторинговый метод, обнаруживает аномальные вибрации, вызванные дефектами [1]. Осцилляции в сетях зубчатых колес, вращающихся осях и подшипниках анализируются с использованием экспериментального анализа вибрации, решая проблемы точного выявления неисправностей [2,3]. Анализ вибрации включает два этапа: (1) Обнаружение характеристик и (2) Слияние данных. Основные вибрации от каждого

компонента обрабатываются для извлечения частотно-связанных характеристик на этапе обнаружения характеристик.

Методы анализа вибрации

Методы анализа вибрации развиваются с двумя основными целями. Первая цель - разделение сигналов, относящихся к различным компонентам машины, другая цель - выявление состояния отдельных компонентов и выявление неисправных частей. В общем виде процесс вибрационного поиска неисправностей можно увидеть на рисунке 1.



Рис. 1. Диаграмма процесса вибрационной диагностики

Анализ во временной области

Методы во временной области направлены на изучение временных характеристик вибрационных сигналов для выявления потенциальных проблем во вращающихся системах, особенно в компонентах, таких как вал и подшипники. Временная область предоставляет интуитивную перспективу с физическим пониманием вибраций. Это полезно для анализа сигналов, обусловленных неисправностями в подшипниках и передачах, характеризующихся кратковременными, прерывистыми и непрерывными импульсами [6].

Анализ временной волны (Time Wave Analysis): До появления спектральных анализаторов основным методом вибрационного анализа была работа в области времени. Изучение временной формы волн при помощи оборудования, такого как осциллографы или вибрографы, часто позволяло выявлять изменения в вибрационных узорах, свидетельствующих о неисправностях. Тем не менее, диагностика неисправностей была сложной задачей. Связать изменение с конкретным компонентом требовало ручного вычисления осцилляций на основе наблюдаемой временной разницы между определенными точками. Анализ временных форм волн оказывается полезным для выявления асинхронных вибраций относительно скорости вращения вала. Обратитесь к рисунку 2 для визуального представления реальной формы волн вибрации.

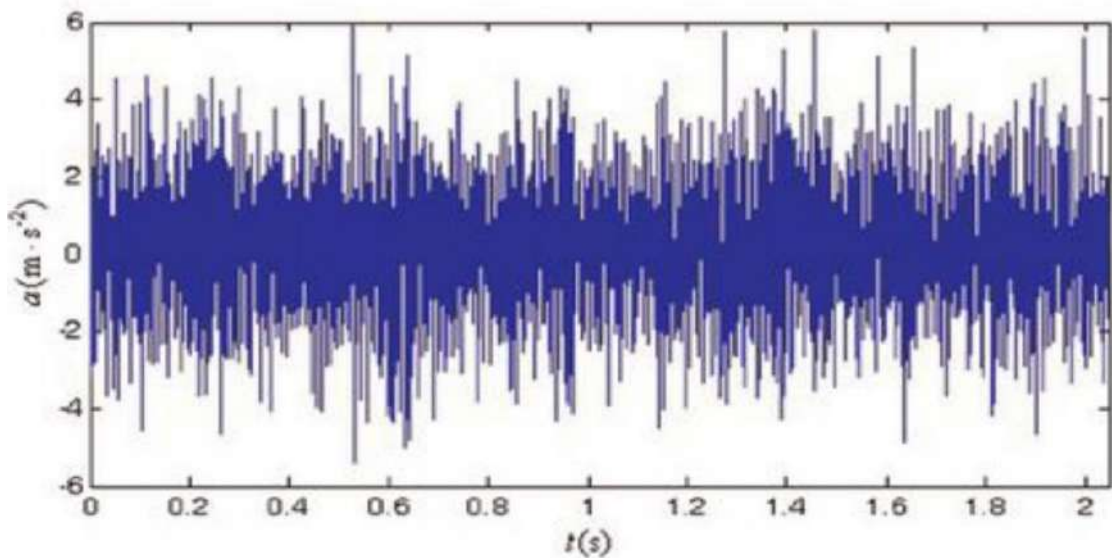


Рисунок 2. Реальная форма вибрационного сигнала

Квадратный корень из среднего(Root Mean Square (RMS)): Квадратный корень из среднего не является статистическим показателем, что делает его менее надежным для выявления повреждений в непрерывных практических системах. Его значение более подходит для стабильных условий работы. Он представляет уровень энергии вибрационного сигнала и используется для отслеживания общего уровня шума. RMS во временной области вычисляется из уравнения 1 [7].

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N x^2}{N}} \quad (1)$$

В этом уравнении x - это n -е числовое значение во временной области, а N - общее количество точек во временной области. RMS сигнала обычно выражается в контексте "устойчивого состояния" или "непрерывной частоты" переменного сигнала относительно времени.

Статистические методы (Statistical Methods): Аналитические процедуры с использованием статистических методов могут быть успешно выполнены при использовании данных, специально полученных и обработанных в области времени. Этот подход позволяет провести всесторонний анализ временных паттернов, обеспечивая понимание динамического поведения и вариаций явлений, что приводит к более тонкому и информативному статистическому анализу [8].

Стандартное отклонение (Standard Deviation): Стандартное отклонение - это мера асимметрии или, точнее, отсутствия симметрии в сигнале. Распределение рядов данных считается симметричным, когда правая или левая сторона центральной точки равны. Уравнение (2) используется для расчета эксцесса, где $y(n)$ представляет данные, а μ - их среднее, σ - это стандартное отклонение.

$$S = \frac{\sum_{n=1}^N [y(n) - \mu]^3}{N * \sigma^3} \quad (2)$$

Анализ в частотной области

Методы анализа в частотной области включают в себя быстрое преобразование Фурье (БПФ) и другие подобные методы. Они используют различия в спектральной плотности сигнала, вызванные дефектами системы, для выявления повреждений в компонентах системы. Любой реальный сигнал может быть разложен на уникальную комбинацию синусоидальных волн. Каждая изолированная синусоидальная волна в сигнале выглядит как вертикальная линия в частотной области, представляя ее амплитуду и частоту. Частотная область не только выявляет дефекты во вращающемся оборудовании, но также определяет причину дефекта.

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) (Fast Fourier Transform (FFT)): Быстрое преобразование Фурье (БПФ) - это метод эффективного вычисления дискретного преобразования Фурье (ДПФ) последовательности, ограниченной в частотной области. Он легко представляет частотные компоненты вибрационного сигнала. Фурье-анализ преобразует сигнал из временной области в частотную область, но не предоставляет информации о временных характеристиках, что ограничивает способность идентификации времени возникновения дефектов в сигнале. Частотная область сигнала может быть получена с использованием преобразования Фурье в соответствии с уравнением 3 [8,9]. Операция преобразования Фурье для перевода сигнала из временной области в частотную представлена на рисунке 3.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (3)$$

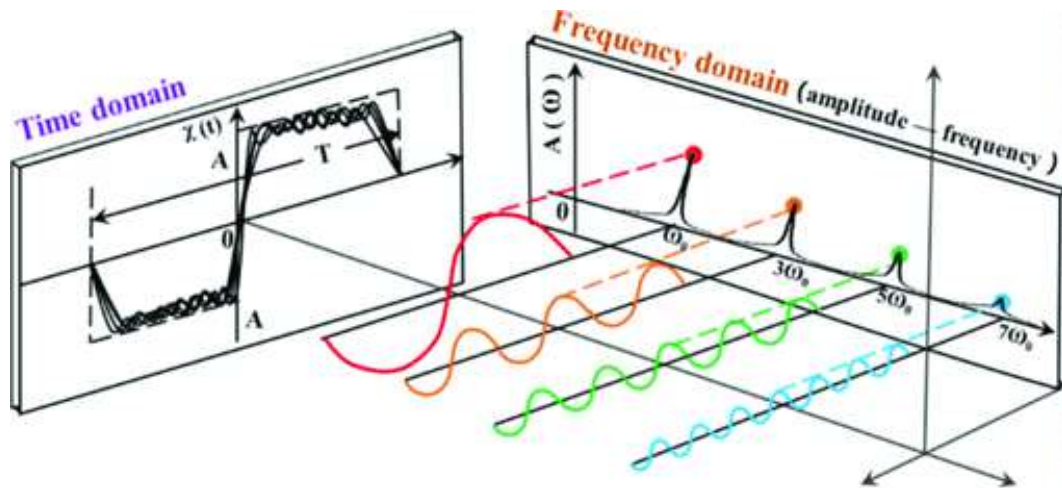


Рисунок 3. Из временной области в частотную область.

Для выполнения преобразования Фурье на общем компьютере или микропроцессоре, временной сигнал должен быть преобразован в дискретную форму. В этом контексте вводится дискретное преобразование Фурье (ДПФ)[9].

$$F[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi \frac{kn}{N}} \quad (4)$$

ПФ может быть вычислен рекурсивно, что означает, что его можно разбить на более мелкие ДПФ, которые могут быть вычислены независимо друг от друга. Это делает БПФ чрезвычайно эффективным, особенно для больших последовательностей. БПФ, представленное в уравнение (4).

БПФ имеет широкий спектр применений, включая:

Обработка сигналов: БПФ используется для анализа частотного содержания сигналов, таких как аудиосигналы, изображения и временные ряды данных.

Системы связи: БПФ применяется в цифровых системах связи для модуляции и демодуляции сигналов.

Криптография: БПФ используется в некоторых криптографических алгоритмах.

Научные вычисления: БПФ применяется в научных вычислениях для решения дифференциальных уравнений и других математических задач.

Заключение

Прогнозирующее техническое обслуживание, включающее методы, такие как анализ быстрого преобразования Фурье (БПФ), играет ключевую роль в этом процессе. Применение стратегий прогнозирующего технического обслуживания позволяет проактивно выявлять потенциальные проблемы, связанные с вибрациями во вращающемся оборудовании. Использование анализа БПФ специально позволяет подробно рассмотреть компоненты частот в сигналах вибрации. Анализ вибрационного состояния с использованием БПФ включает преобразование временных сигналов вибрации в частотно-доменные представления. Это не только помогает выявлять наличие несоответствий, но

также предоставляет ценную информацию о конкретной природе и серьезности потенциальных неисправностей. Благодаря этому проактивному подходу операторы машин могут решать вопросы, возникающие до того, как они перерастут в серьезные проблемы, тем самым максимизируя операционную эффективность и минимизируя неплановые простои. В сущности, интеграция прогнозирующего технического обслуживания, особенно с использованием передовых техник, таких как анализ БПФ, улучшает общую надежность и производительность вращающегося оборудования.

Список литературы

1. Chao-Hui ou, Cheubg-Hwa Hsu, Gui-Jie Fanand Wei-Yu Chen “Rotary machine vibration monitoring and smart balance correctio”, *Advances in Mechanical Engineering*, 2020, Vol. 12(6) 1–11
2. Randall, R. B., “Detection and diagnosis of incipient bearing failure in helicopter gearboxes”, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 11, No. 2, 2004, pp.177-190.
3. McFadden, P. D., J. D. Smith, “Effect of transmission path on measured gear vibration”, *Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*, Vol.108, No.3, 1986, pp.377-378.
4. Shigeru Izumi, Izumi Yamada & Masayuki Izumi, “Vibration Monitor for Rotating Machines Using Average Frequency Technique”. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 16[6], pp. 441-445 (June 1979).
5. McFadden, P. D., “A revised model for the extraction of periodic waveforms by time domain averaging”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.1, No.1, 1987, pp.83-95.
6. Li, H., Y. Zhang, H. Zheng, “Application of Hermitian wavelet to crack fault detection in gearbox”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.25, No.4, 2011, pp.1353-1363

Сведения об авторах

Надиров У.Н.– магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Нурализода А.Н. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Тимерова М.М. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

СЕКЦИЯ – 2

**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ
ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ**

ВЛИЯНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ БАСЕЙНА РЕК НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАЛЫХ ГЭС

Арабов Ф.Д.

Научный руководитель – к.т.н. Киргизов А.К.
ТГУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
E-mail: Arabovfed@gmail.com

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные вопросы планирования выработки электроэнергии на малых ГЭС в зависимости от стока рек. Приведено причинно-следственная связь между образованием стока и атмосферных факторов на гарантированную мощность МГЭС. Рассмотрен один из вариантов планирования выработки электроэнергии на малых ГЭС с использованием метода математической регрессии.*

***Ключевые слова:** река, прогнозирование, сток, гидроэлектростанция, электроэнергия.*

INFLUENCE OF RIVER BASIN FORMATION ON ELECTRICITY PRODUCTION OF SMALL HYDRO POWER PLANTS

***Annotation.** The article discusses the main issues of planning electricity generation at small hydroelectric power stations depending on river flow. The cause-and-effect relationship between the formation of runoff and atmospheric factors on the guaranteed capacity of small hydroelectric power stations is presented. One of the options for planning electricity generation at small hydroelectric power stations using the mathematical regression method is considered.*

***Key words:** river, forecasting, runoff, hydroelectric power station, electricity.*

При планировании производства электроэнергии на малых ГЭС исходя из среднего многолетнего значения расхода воды в реке в засушливые годы будет недостаточной обеспеченности стока, что приведет к снижению производства электроэнергии. Когда речной сток уменьшается, малые гидроэлектростанции работают при пониженном напоре, что ограничивает способность гидроэнергетики участвовать в покрытие графика нагрузки и, таким образом, теряет потенциал выработки электроэнергии. Необходимо разработать и выбрать новые методы планирования производства электроэнергии на МГЭС отдельно и в составе каскадов ГЭС при планировании производства на основе прогнозов речного стока. Прогнозирование производства электроэнергии на малых гидроэлектростанциях (МГЭС) на основе речного стока может осуществляться с использованием различных методов, включая статистические и методы моделирования. Основные этапы прогнозирования:

Сбор данных: Сбор исторических данных о выработке гидроэлектроэнергии и речном стоке. Для учета сезонных изменений важно иметь данные за длительный период времени.

Анализ данных: выполните анализ данных, чтобы понять взаимосвязь между потреблением воды и производством электроэнергии. Использует графические и статистические методы для выявления закономерностей и взаимосвязей [1].

Создайте кривую гидроэнергетики. Создайте кривую доступности потока, которая показывает взаимосвязь между расходом воды и производством электроэнергии. Обычно эта кривая представляет собой график, на котором ось X представляет поток воды, а ось Y представляет производство электроэнергии.

Моделирование и прогнозирование. Для прогнозирования производства электроэнергии на основе гидроэлектрической кривой можно использовать различные методы. Например, если у вас есть текущий расход воды, вы можете найти подходящее выходное значение, используя кривую.

Использование дополнительных факторов. В зависимости от сложности системы в модель могут быть включены дополнительные факторы, такие как температура воды, количество осадков и т. д., для повышения точности прогноза [2].

Проверка модели: проверьте производительность модели на исторических данных путем сравнения прогнозов с фактическими данными. Чтобы оценить точность, используйте различные показатели, такие как средняя абсолютная ошибка (MAE) или среднеквадратическая ошибка (MSE).

Мониторинг и обновление: постоянно отслеживает производительность модели и проверяет ее требования. Сезонные тенденции и условия могут меняться, поэтому модель необходимо адаптировать к новым данным.

Прогнозирование производства электроэнергии малыми ГЭС на основе речного стока позволяет оптимизировать использование гидроэнергетических ресурсов и управлять производством электроэнергии в соответствии с текущими условиями. При планировании производства электроэнергии в горных районах Таджикистана при отсутствии достаточных данных расчеты производства электроэнергии основывались на определении коэффициентов взаимной корреляции r между величинами водных ресурсов в снежном покрове, влажностью почвы и количеством электроэнергии, произведенной на гидроэлектростанциях, с использованием метода корреляционного анализа, основанного только на коэффициентах стока. В работе использовалась

множественная линейная корреляция с пошаговым регрессионным анализом для выявления прогнозирующих связей.

То есть если переменная Y зависит от нескольких переменных X_1, X_2, \dots, X_n , то для каждой реализации Y справедливо:

$$Y - \bar{Y} = C_1 (X_1 - \bar{X}_1) + C_2 (X_2 - \bar{X}_2) + \dots + C_n (X_n - \bar{X}_n) \quad (1)$$

Данное уравнение называется уравнением регрессии переменного Y на переменные X_1, X_2, \dots, X_n . При нахождении коэффициентов уравнения регрессии в уравнении (1) был использован метод наименьших квадратов. Далее было использована методика выработки электроэнергии МГЭС от при влиянии атмосферных факторов. Статистические методы прогнозирования основываются на анализе многочисленных факторов атмосферных изменений на обширной территории формирования стока реки. Аналогичный метод был применен в данной статье при разработке модели планирования выработки электроэнергии на основе атмосферных факторов. При нынешнем развитии техники и технологии можно получить достаточное количество данных об атмосферных изменениях на обширных территориях. При ограниченных территориях особенно в горных условиях Таджикистана более удобно использовать существующие методики методике разложения регрессии по полям по давлению и температуре основываясь полиномами Чебышева [4].

При этом поле давления P можно задавать в точках пересечения прямоугольной регулярной сетки меридианов и параллелей с координатами $x = 1, 2, 3, 4, \dots, n$; $y = 1, 2, 3, 4, \dots, m$. Такое поле можно представить в виде суммы произведений,

$$P_{(x,y)} = A_{00} + A_{10}\Psi_1(x)\Psi_0(y) + A_{01}\Psi_0(x)\Psi_1(y) + A_{11}\Psi_1(x)\Psi_1(y) + \dots + A_{ij}\Psi_i(x)\Psi_j(y) \quad (2)$$

Коэффициенты A_{ij} определяются из выражения:

$$A_{ij} = \frac{\sum_{x,y} P(x,y)\Psi_i(x)\Psi_j(y)}{\sum_x \Psi_i^2(x) \sum_y \Psi_j^2(y)} \quad (3)$$

Где $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi$ - функции заданные таким образом, что фактор A_{ij} отображает некоторое распределение P .

Для обеспечения удовлетворительного совпадения расчетного и фактического поля достаточно вычислять только первые 10 членов ряда. Изменение атмосферных сезонов в горных районах проходит обычно от двух до трёх месяцев которое позволяет оценивать преобладание разных процессов, которое позволяет прогнозировать уровень стока на один два месяца вперёд.

Модель планирования выработки на малых ГЭС основываясь на атмосферных изменениях можно принимать только те параметры, которые могут существенно влиять на формирование стока в реках и выработку электроэнергии ГЭС. Значение геопотенциала местности позволяет построить модель прогнозирования выработки электроэнергии ГЭС на основе климатических факторов. Для начала используется давление поля геопотенциала где необходимо произвести расчёты в зависимости от месяца которое позволяет разложить коэффициенты разложения поля геопотенциала за весь период наблюдений. Множество поочерёдных барических полей можно предъявить в виде функции от времени $F(t, x)$, где t - время, ($t = 1,2,3...m$) закрепляющие для каждого частного поля, а x - параметр координата ($x=1,2,3,...n$) разложением по естественным ортогональным составляющим $X_h(x)$, $h = 1,2,3 ...$) с коэффициентами разложения $T_h(t)$, изменяющимися от одного поля к другому с течением времени.

Функция $F(t, x)$ приведена в виде таблицы чисел:

$$\begin{array}{cccccccc} F_{11}, & F_{12}, & F_{13}, & \dots, & F_{1n} \\ F_{21}, & F_{22}, & F_{23}, & \dots, & F_{2n} & (4) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{i1}, & F_{i2}, & F_{i3}, & \dots, & F_{in} \end{array}$$

где, индексы соответствуют значениям переменных t и x . Всякий ряд данной таблицы описывает в n заданных точках момента времени состояние нашего поля. Теперь необходимо найти деление любого частного поля из всей совокупности полей по некоторым функциям $X_h(x)$ с коэффициентами $T_h(t)$, изменяющимися от одного поля к другому (в нашем случае от года к году). Иначе говоря, нужно найти такие функции $X_h(x)$, чтобы имело место разложение:

$$F(t, x) = \sum_h T_h(t) X_h(x) \quad (5)$$

Модель прогнозирования и планирования выработки электроэнергии в зависимости от климатических изменений используется метод пошаговой регрессный анализ с множеств линейных корреляций методом наименьших квадрат которое даёт возможность находить коэффициент регрессии [3].

Совокупность стокообразующих и климатических факторов которые влияют на планировании выработки электроэнергии являются последним этапом модели. Два предыдущих модели основывались на получение или нахождение коэффициентов разложения прогностического уравнения.

Независимыми переменными в уравнение могут быть атмосферные данные об изменении циркуляции геопотенциала и данные о наличии грунтовых вод и снежного покрова.

Адекватность регрессионной модели служить теоретическое корреляционное отношение η является относительная величина которая можно получить путем сравнения среднеквадратичного отклонения сравненных значения δ которое можно поделить по регрессионному уравнению со среднеквадратичным отклонением окончательного признака.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский А.Ю., Борщ П.С. Прогнозирование выработки электроэнергии на ГЭС. // Гидротехническое строительство. - 2013. - №1

2. Александровский А.Ю., Борщ П.С. Зависимость водноэнергетических показателей Эвенкийской ГЭС от стока р. Нижняя Тупгуска и режима использования водных ресурсов водохранилища. // Гидротехническое строительство. - 2012. - №4, с.27 - 30.

3. А.К. Киргизов., Л.С. Касобов., С. Расулов. /Оценка гидрологических режимов малых водотоков Памира при проектировании малых ГЭС. // Вестник Донецкого национального технического университета, № 1 (16). – Донецк: «Цифро-вая типография», 2014. – С. 75–78. УДК. 621.311. ISSN: 2074-2630

4. М.Б. Иноятов., А.К. Киргизов / К вопросу использования малой гидроэнергетики в условиях Таджикистана. // Вестник Таджикского технического университета № 2. 2008. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2008. – С. 38-42. ISSN: 2075-177X

Сведения об авторах:

Арабов Ф.Д -докторант PhD кафедры «Электрические станции». Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. г. Душанбе. Таджикистан

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ СО СТРАТЕГИЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Ёров Х.М., Давлатмамадов Н.Г.

Научный руководитель – к.т.н. Киргизов А.К.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: hurshed@mail.ru

Аннотация: Высокая доля электромобилей (EV) увеличивает спрос на станции быстрой зарядки, создавая нагрузку на существующую сетевую инфраструктуру. Установка зарядных станций может выполнять определенные задачи, снижая влияние сети и помогая системе поддерживать баланс мощности в течение длительного периода времени. Использование нескольких источников энергии для питания автомобиля координируется методом управления питанием. Солнечные панели, ветряные турбины и

Ключевые слова: фотоэлектрическая матрица, двунаправленный преобразователь переменного тока в постоянный, управление с обратной связью, угол наклона, освещенность, нечеткий контроллер, вероятность.

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH VEHICLE POWER MANAGEMENT STRATEGY

Abstract: The high share of electric vehicles (EVs) increases the demand for fast charging stations, putting a strain on existing grid infrastructure. Installing charging stations can accomplish specific tasks by reducing grid influence and helping the system maintain power balance over a long period of time. The use of multiple energy sources to power the vehicle is coordinated by power management. Solar panels, wind turbines and

Keywords: photovoltaic array, bidirectional AC/DC converter, feedback control, tilt angle, illumination, fuzzy controller, probability.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) могут использоваться для зарядки электромобилей, чтобы обеспечить устойчивый и экологически чистый способ передвижения. Солнечная и ветровая энергия является одним из наиболее распространенных типов ВИЭ, используемых для зарядки электромобилей. Солнечные панели устанавливаются на крышах зданий или специальных станциях и позволяют получить электричество из солнечного излучения. Это может быть подключено к зарядной станции для электромобилей, чтобы зарядить его батарею. Солнечная и ветровая энергия

является чистой и возобновляемой формой энергии, что делает зарядку электромобилей экологически более дружелюбной [1].

Использование ВИЭ для зарядки электромобилей имеет множество преимуществ. Во-первых, это снижение выбросов парниковых газов и вредных веществ, так как ВИЭ являются экологически чистыми. Во-вторых, это диверсификация источников энергии и уменьшение зависимости от нефти и других необработанных источников, что снижает риски энергетической безопасности. В-третьих, ВИЭ могут быть установлены в различных местах и обеспечивать зарядку электромобилей в удаленных или труднодоступных районах [2].

Однако есть и некоторые ограничения использования ВИЭ для зарядки электромобилей. Например, солнечная энергия зависит от наличия солнечного излучения, ветроэнергия - от силы ветра, а гидроэнергия - от наличия проточной воды. Это означает, что энергия из этих источников может быть нестабильной и изменчивой. Также требуется инфраструктура для установки солнечных панелей, ветрогенераторов или гидрогенераторов, что может быть затратным в начальной стадии.

Расчёт мощности ВИЭ для заряда электромобилей

Расчет мощности установок ВИЭ для зарядки электромобилей зависит от нескольких факторов, включая энергопотребление электромобилей, доступные источники ВИЭ и средняя скорость зарядки. Основные шаги для расчета мощности установок ВИЭ для зарядки двух электромобилей описаны ниже. Определить энергопотребление электромобилей:

- узнать энергопотребление в киловатт-часах (кВт*ч) для каждого электромобиля.
- эта информация обычно доступна в спецификациях электромобиля или может быть получена у производителя.

Рассчитать общую энергию, необходимую для зарядки двух электромобилей сложить энергопотребление каждого электромобиля для определения общей энергии, необходимой для зарядки двух электромобилей. Например, если один электромобиль потребляет 30 кВт * ч, а другой - 40 кВт*ч, общая энергия будет равна $30 + 40 = 70$ кВт * ч.

Оценить среднюю скорость зарядки, определить, сколько времени занимает зарядка электромобилей. Средняя скорость зарядки может быть выражена в кВт или кВт*ч в час [3].

Мощность установок ВИЭ: для расчета мощности установок ВИЭ нужно рассчитать, сколько энергии будет необходимо получить от энергетических

установок ВИЭ для зарядки двух электромобилей. Для этого необходимо поделить общую энергию, необходимую для зарядки двух электромобилей, на среднюю скорость зарядки [4].

Например, если общая энергия, необходимая для зарядки двух электромобилей, составляет 70 кВт*ч, а средняя скорость зарядки равна 10 кВт в час, мощность установок ВИЭ должна быть не менее 7 кВт ($70 \text{ кВт*ч} / 10 \text{ кВт/час} = 7 \text{ кВт}$).

Выводы

Выгода от использования ВИЭ для зарядки электромобилей может быть различной для каждого случая, и зависит от цен на электроэнергию, стоимости установки ВИЭ и других факторов. Однако, преимущества такого использования могут включать сокращение использования нефтепродуктов, экологические плюсы и потенциальную экономию на долгосрочной энергетической стабильности и независимости.

Литература

1. Ютт В.Е., Строганов В.И. Электромобили и автомобили с комбинированной установкой. Расчет скоростных характеристик: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 108 с.
2. Энергоустановки автомобильного транспорта с тяговым электроприводом: монография / Лежнев Л.Ю., Хрипач Н.А., Шустров Ф.А., Папкин Б.А., Петриченко Д.А., Иванов Д.А., Татарников А.П., Коротков В.С., Неверов В.А. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2017. 204 с.
3. Тойлыбаев А.Е., Сешмхан С. Электромобиль - транспорт будущего // Universum: Технические науки. 2018. № 5(50). 4 с.
4. Дирекция по экономике отраслей ТЭК: информационная справка // Электрический и гибридный автотранспорт в мире - Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, декабрь 2013. 12 с.

Сведения об авторах:

Давлатмамадов Некруз Гавхарович – магистрант 1-ого курса группы 430101 Б. Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.

Ёров Хуршед Махмадуллоевич – магистрант 1-ого курса группы 430101 Б. Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.

КОМБИНИРОВАННЫЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ

Мингазетдинов И.Х., Мальцева С.А., Ащеулова М.С.

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ) г. Казань, Российская Федерация*

E-mail: smaltseva16@yandex.ru

Аннотация: В работе предлагается новая конструкция ветровой энергетической установки с более полным использованием ветрового потока, попадающего в полость аппарата, что значительно повышает КПД ветроустановки.

Ключевые слова: ветровой поток, ротор Савониуса, регулируемые заслонки.

COMBINED ADJUSTABLE WIND MOTOR

Annotation: The paper proposes a new design of a wind power plant with a more complete use of the wind flow entering the cavity of the apparatus, which significantly increases the efficiency of the wind turbine.

Keywords: wind flow, Savonius rotor, adjustable dampers.

Интенсификация развития техносферы требует значительного возрастания энергопотребления. Используемая в настоящее время энергия базируется, в основном, на использовании сжигания органических биоресурсов (уголь, нефть, газ, торф и др.). Используемые энергоресурсы являются исчерпаемыми и наносят значительный вред всем элементам биосферы (атмосфере, гидросфере, литосфере). Поиск альтернативных источников энергии дает широкий спектр возможностей. Это гидроэнергетика, волновые и приливные источники, ветроэнергетика, биоэнергетика, водородная энергетика, прямое преобразование солнечной энергии и др. Все эти методы являются экологически чистыми и практически неисчерпаемыми. Но все эти направления имеют ограничения по использованию в связи с низким коэффициентом полезного действия (КПД). Поэтому вопрос повышения КПД альтернативных источников энергии является весьма актуальной проблемой. В данной работе рассматривается вопрос рационального использования ветровой энергии, которая может быть использована в небольших фермерских хозяйствах.

Рассматривается ветроустановка с вертикальной осью вращения, в которой на вертикальном валу закреплен ротор Савониуса 3, над которым имеется лопастное колесо 6, аэродинамический пропеллер 7 и флюгер 8. Вся установка, вместе с ротором Савониуса, лопастным колесом установлена в

шестигранный корпус, в котором перед каждой лопастью Савониуса расположен конфузурный концентратор 2, являющийся тангенциальным соплом к каждой лопасти. Каждое сопло имеет подвижную заслонку 4 в узкой части конфузора. Положение каждой заслонки управляется совместно с каждой парой сопел, и осуществляется за счет вращения шестерни, соответствующей каждой паре сопел и перемещения зубчатых реек, связанных с парой заслонок через гидроусилители 23 в гидроцилиндрах 21.

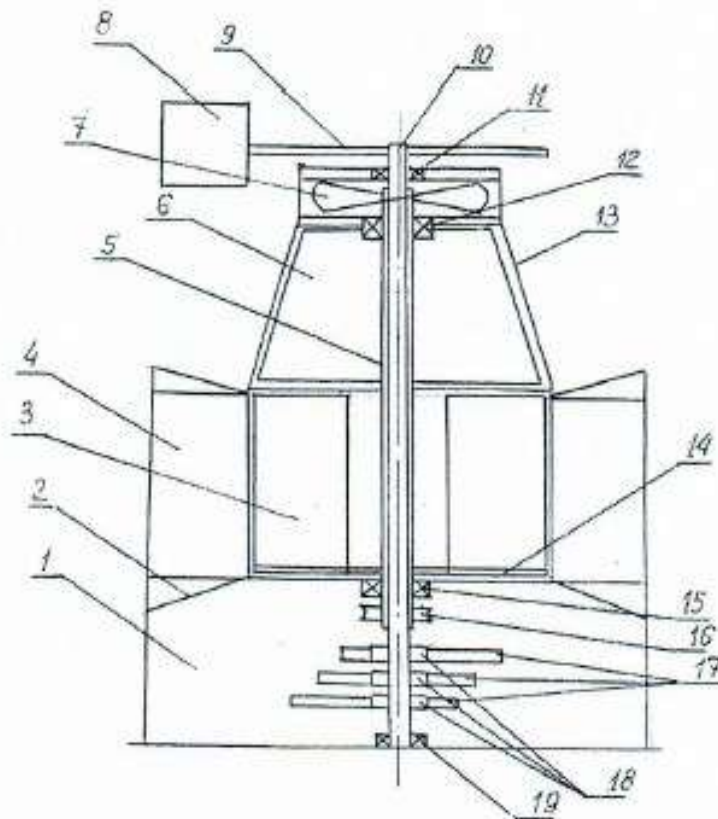


Рис.1. Принципиальная схема ветроустановки с вертикальной осью вращения: 1 – основание; 2 – конфузурные сопла; 3 - ротор Савониуса; 4 – заслонки; 5, 10 – вал; 6 – лопастное колесо; 7 – аэродинамический пропеллер; 8 – флюгер; 9 – штанга; 11, 12, 15, 19 – подшипники; 13 - кожух 14 - диск; 16 – шкив; 17 – зубчатые рейки; 18 – зубчатое колесо; 20 – паз заслонки; 21 – гидроцилиндры; 22 – пружина; 23 – гидроусилители.

Устройство работает следующим образом: набегающий поток воздуха попадает в несколько окон, расположенные с наветренной стороны. В соответствии с направлением ветра поворачивается штанга 9 с флюгером 8, вследствие чего поворачивается управляющий вал 10. Расположенные на валу 10 зубчатые колеса 18 поворачиваются, перемещая находящиеся с ними в зацеплении зубчатые рейки 17. Перемещение реек 17 воздействует на поршни гидроусилителей 23 и через гидроцилиндры 21 воздействуют на заслонки 4.

Каждое зубчатое колесо 18 находится в зацеплении с двумя зубчатыми рейками 17, расположенными диаметрально противоположно друг к другу, поэтому их перемещение происходит во взаимно противоположных направлениях.

Таким же образом, в противоположных направлениях осуществляется воздействие на поршни гидроусилителей 23 и через гидроцилиндры 21 на заслонки 4. Поскольку конфузорные сопла 2 сблокированы попарно с противоположным радиальным сегментом и каждое зубчатое колесо 18 и зубчатые рейки 17 управляют каждой парой заслонок 4, то одновременно происходит действие с каждой парой заслонок, но с противоположным знаком: одна заслонка полностью открывает канал сопла (с наветренной стороны), а другая заслонка полностью закрывает канал сопла (с подветренной стороны). При этом, заслонки, относящиеся к боковым каналам (по отношению к направлению ветра) занимают промежуточное положение. Поскольку поток воздуха, истекающий с подветренных сопел существенно уменьшается, то значительная часть воздуха раскручивает ротор Савониуса и лопастное колесо 6 и мощность на валу 5 существенно возрастает и увеличивается снимаемая энергия со шкива 6.

В случае изменения направления ветра штанга 9 с флюгером 8 поворачивается, вызывая поворот управляющего вала 10, в соответствии с которым зубчатые колеса 18 изменяют свое положение передвигая соответствующие зубчатые рейки 17, а соответственно и заслонки 4. Поэтому, при любом направлении ветра одна пара конфузорных сопел обязательно будет соответствовать вектору направления потока воздуха и заслонка с направленной стороны будет полностью открыта, а с подветренной стороны будет полностью закрыта. Такое более полное использование ветрового потока позволит повысить КПД установки.

Заключение

Предложенная ветроэнергетическая установка наиболее полно использует ветровой напор. Полнота использования обеспечивается использованием заслонок, закрывающих поток воздуха с подветренной стороны ротора Савониуса и перенаправляющих его вверх. Эта располагаемая энергия трансформируется в лопастном коническом колесе, ускоряя ветровой поток, придавая ротору дополнительную энергию. Далее поток воздуха воздействует на аэродинамический пропеллер, который создает подъемную силу, разгружая подшипники.

Все эти факторы значительно увеличивают КПД установки и осуществляются автоматически. Использование установки целесообразно для индивидуальных фермерских хозяйств

Литература

1. Да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие, пер. с англ. под ред. С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – Долгопрудный: Издательский дом МЭИ, 2010. 704 с.
2. Патент № 181671, бюл. №21 от 26.07.2018г Комбинированный регулируемый ветродвигатель / Мингазетдинов И.Х., Бурова И.Д., Лисин Р.А.

Сведения об авторах:

Мингазетдинов И. Х. – к.т.н., доцент каф. общей химии и экологии КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

Мальцева С. А. – к.х.н., доцент каф. общей химии и экологии КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. E-mail: smaltseva16@yandex.ru

Ащеулова М. С. – обучающийся направления 20.03.01 «Техносферная безопасность» КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Шарифов Б.Н., Давлатов А.А., Сайфуллоева О.М.
Научный руководитель – к.т.н. Диёрзода Р.Х
ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
E-mail: bohir.sharifov89@gmail.com

***Аннотация:** В работе рассматривается моделирование и анализ влияния внешних условий окружающей среды на энергетические показатели фотоэлектрических установок. Целью работы является имитация фотоэлектрической установки под действием разнообразных факторов окружающей среды.*

***Ключевые слова** солнечная энергетика, фотоэлектрическая установка, математическая модель, Matlab/Simulink.*

STUDY OF ENERGY PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC EQUIPMENT

***Annotation:** The paper discusses modeling and analysis of the influence of external environmental conditions on the energy performance of photovoltaic equipment. The goal of the work is to simulate photovoltaic equipment under the influence of various environmental factors.*

***Keywords:** solar energy, photovoltaic equipment, mathematical model, Matlab/Simulink.*

Создание новых эффективных фотоэлектрических элементов является одной из актуальных задач развития солнечной энергетики. В последние годы, фотоэлектрические элементы используются в системах водоснабжения, насосных и кондиционерных станций в отдаленных и изолированных районах, где линии электропередач не доступны или экономически нецелесообразны. В связи с этим, оценка эффективности их работы является достаточно важной. Необходимо иметь возможность определять выходные зависимости фотоэлектрических установок (ФЭУ) под действием разнообразных факторов окружающей среды, сравнивать эффективность использования ФЭУ из различных материалов, оценивать их поведение в различных режимах работы. Для эффективного использования ФЭУ необходимо знать точку максимальной мощности и обеспечить такой режим, чтобы отдаваемая мощность, при изменении окружающих условий, была наибольшей. При отработке ФЭУ используют имитаторы солнечных батарей, позволяющие воспроизводить

характеристики ФЭУ под влиянием разнообразных внешних воздействий [1]-[5].

Чтобы провести исследование выходных характеристик необходима составит математическую модель ФЭУ. Уравнение (1) описывает математическую модель ФЭУ [4,5] входных переменных которого являются уровень солнечной инсоляции S_x и температуры окружающей среды T_x .

$$\left\{ \begin{array}{l} I_c = I_{ph} - I_o \left\{ e^{\left[\frac{e}{AkT_c}(U_c + I_c R_c) \right]} - 1 \right\} \\ U_c = \frac{AkT_c}{e} \ln \left(\frac{I_{ph} - I_c + I_o}{I_o} \right) - I_c R_c \\ C_{SU} = 1 + \beta_T \alpha_S (S_x - S_C) + k_{SU} \\ C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_C} (S_x - S_C) + k_{SI} \\ C_{TU} = 1 + \beta_T (T_C - T_x) \\ C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_C} (T_x - T_C) \\ \alpha_S = \frac{T_x - T_C}{S_x - S_C} \\ U_{Cx} = C_{SU} C_{TU} U_c \\ I_{phx} = C_{TI} C_{SI} I_c \\ P_{Cx} = U_{Cx} I_{phx} \end{array} \right. \quad (1)$$

Предложена универсальная модель ФЭУ в программе Matlab с применением элементов библиотеки Simulink и Sim Power System [6]. Компьютерная модель строится на основании уравнения математической модели (1) ФЭУ (рис.1). Данная модель позволяет смоделировать систему электроснабжения ФЭУ с учетом изменения солнечной инсоляции и температуры окружающей среды. Моделирование производится для единичного солнечного элемента с выходным напряжением 0,61-0,67 В, которое затем умножается на количество ячеек, подключенных последовательно, чтобы получить выходное напряжение ФЭУ. Компьютерная модель выполнена для 4х видов, наиболее распространенных ФЭУ, которые имеют следующие технические данные (таблица 1);

Таблица 1. Паспортные данные исследуемых ФЭУ

Тип ФЭУ		TCM-210SB	SW 155 mono	MCPH P7 125W	ASM6610P 270
---------	--	------------------	--------------------	---------------------	---------------------

Номинальная мощность, [Вт]	P_n	210	155	125	270
Напряжение холостого хода.	U_{sc}	44	43.6	74.1	37.99
Рабочее напряжение, [В]	U_p	38	34.8	56.6	31.29
Рабочий ток, [А]	I_p	5.49	4.46	2.23	8.7
КПД, [%]	η	17.34	4.9	2.71	9.15
Площадь поверхности, [М] ²	S_n	1.26	11.8	8.9	16.5
Количество фотоэлементов	N	72	72	72	60
Свойства фотоэлемента					
Обратный ток насыщения диодов, [А]	I_0	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$
Диод, фактор идеализации	A	1,43	1,43	1,6	1,43
Температурный коэффициент выходного	β_T	0,004	0,004	0,39	0,32
Температурный коэффициент выходного	γ_m	0,06	0,06	0,06	0,059

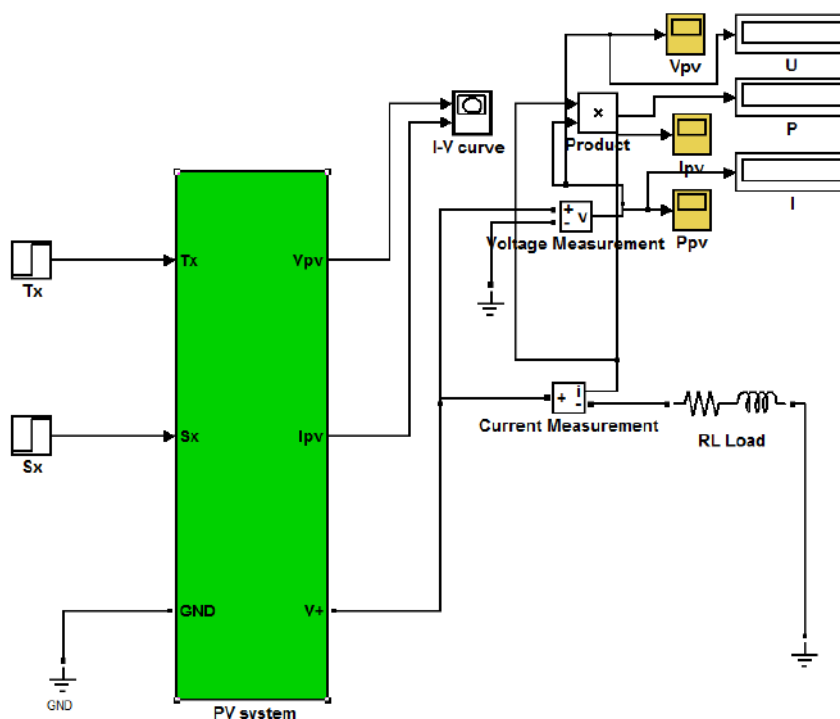


Рисунок 1 – Модель ФЭУ

Важными параметрами, прямо влияющими на работу фотоэлектрической установки, являются температура и солнечная радиация. С помощью модели можно рассматривать влияние температуры окружающей среды и уровня солнечной инсоляции на выходные характеристики ФЭУ.

Рассмотрим влияние уровня солнечной инсоляции на выходные характеристики ФЭУ. На рисунке 2 приведены семейство вольтамперных характеристик (ВАХ) ФЭУ при изменении уровня солнечной инсоляции в диапазоне [1000-200] Вт/м².

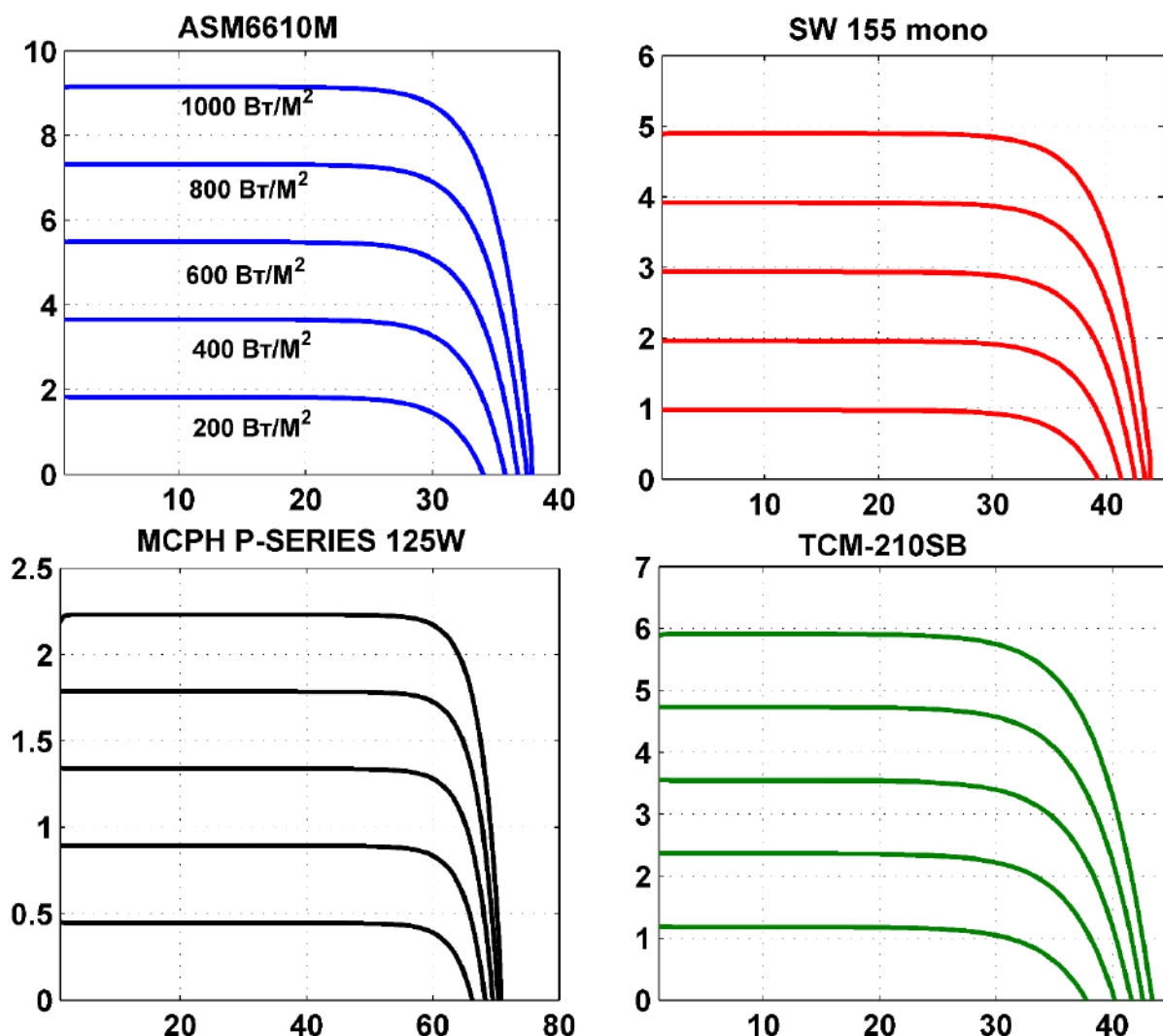


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика ФЭУ для различных уровней освещенности.

Анализ рисунка показывает, что при уменьшении уровня солнечной инсоляции, уменьшается ток короткого замыкания и напряжение холостого хода, причем ток короткого замыкания уменьшается быстрее, чем напряжение холостого хода.

Таким образом, снижение уровня солнечной инсоляции оказывает большее влияние на ток короткого замыкания, чем на напряжение холостого хода, что приводит к уменьшению выходной мощности ФЭУ. По мере уменьшения уровня солнечной инсоляции, характеристика выходной мощности ФЭУ смещается вниз. График изменения выходной мощности ФЭУ от уровня солнечной инсоляции представлен на рисунке 3

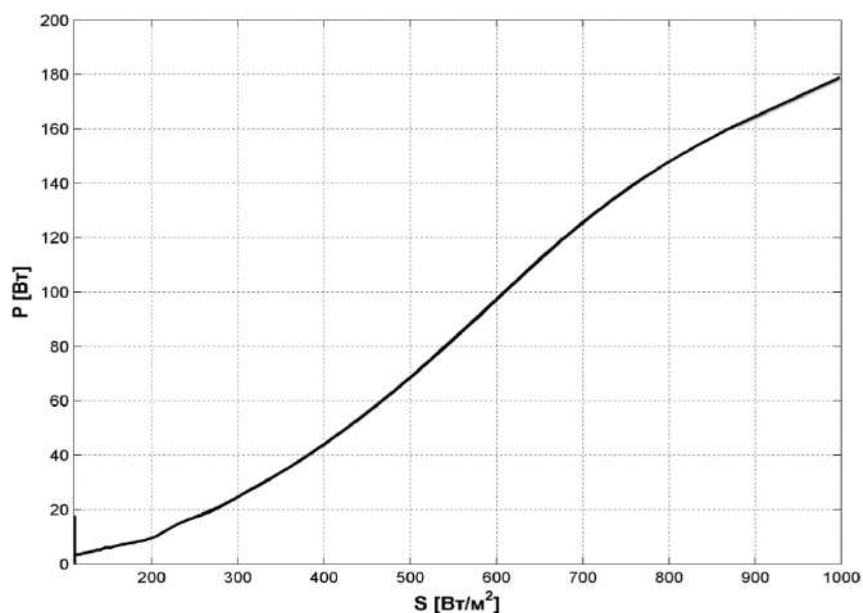


Рисунок 3. – Зависимость выходной мощности ФЭУ TSM-201SB от солнечной инсоляции.

В настоящее время современные технологии преобразования солнечной энергии позволяют использовать лишь небольшую часть ее для производства электрической энергии ФЭУ. Большая часть солнечной инсоляции преобразуется в тепло в элементах ФЭУ, что приводит к повышенной рабочей температуре ФЭУ. В результате температура ФЭУ может быть значительно выше окружающей среды, что снижает ее эффективность. График ВАХ ФЭУ при изменении температуры окружающей среды представлен на рисунке 4

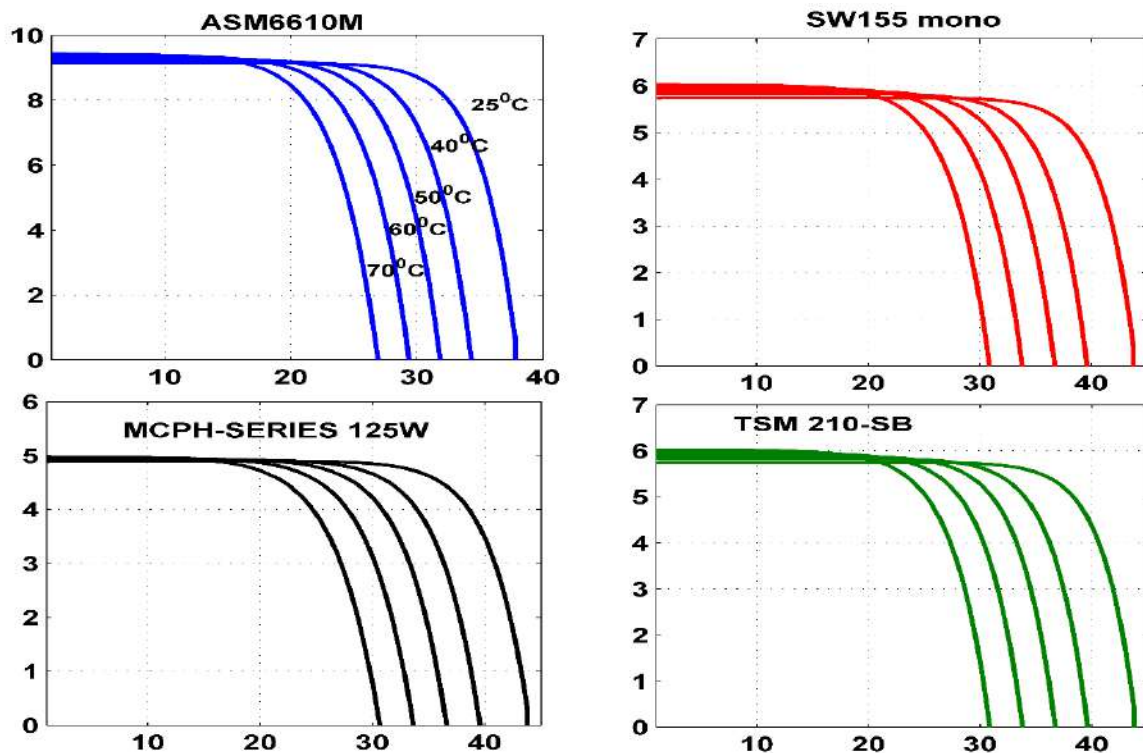


Рисунок 4. – ВАХ ФЭУ при изменении температуры

В некоторых исследованиях было выявлено, что изменение температуры может оказывать влияние на эффективность фотоэлектрических панелей (ФЭУ). При этом, эксперты отметили наличие линейной зависимости между температурой и эффективностью с отрицательным коэффициентом наклона.

Как видно из рисунка изменение температуры оказывает существенное влияние на напряжение холостого хода. При увеличении температуры от 25⁰С до 70⁰С напряжение холостого хода уменьшается на 18% (рис.4.), в то время как ток короткого замыкания существенно не изменяется.

Выводы

Исследование энергетических характеристик ФЭУ при различных условиях окружающей среды является основным фактором показывающий энергетическую эффективность солнечных электростанций. Виртуальная модель ФЭУ позволяет детально проанализировать процессы, протекающие в солнечных фотопреобразователях, что имеет огромное значение не только для научного, но и для образовательного процесса. В данной статье была разработана модель ФЭУ. Проведена анализ ВАХ при различных условиях окружающей среды.

Литература

1. Фролкова Н.О., Абраменкова И.В, Фролкова О.А., Моделирование последовательного сопротивления в структуре реального солнечного элемента // Материалы X международной конференции «Системы компьютерной математики и их приложения», СКПМ 2009 г, с 3-5.
2. Altas I. H., Sharaf A. M: A photovoltaic powered efficient DC motor drive for pump irrigation // Proc. Canad. Solar Energy Conf., Halifax, N.S., Canada, 1990.
3. Стребков Д.С., Никитин Б.А., Харченко В.В., Гусаров В.А., Тихонов П.В. Влияние температур в широком интервале значений на параметры солнечных элементов // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2013. №4. с. 46-48.
4. Шарифов. Б.Н., Тергулов Т.Р., Моделирование солнечной панели в программе Matlab/Simulink // Вестник уфимского государственного авиационного технического университета 2015 №4 ,с 77-83.
5. Teregelov.T.R., Sharifov B., Valeev A.R., Simplified solar panel modeling in MATLAB/Simulink considering Bashkortostan Republic (Russia) environment characteristics // 2nd International Conference on Industrial

Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) 2016, pp 17-21 (IEEE Conference Publications).

6. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем: учебное пособие: СПб КОРОНА-принт ,2001 320с.

Сведения об авторах:

Диёрзода Рустам Хакимали – 1986 г.р., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на основе машины двойного питания.

Шарифов Бохирджон Насруллоевич – 1989 г.р., ассистент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на солнечных электростанции.

Давлатов Абдулманон Абдулфатохевич – 2001 г.р., магистрант кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – автоматика и управление фотоэлектрических установок.

Сайфуллоева Олуфтамо Мируллоевна– 1992 г.р., PhD докторант кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – автоматика и управление электроприводов.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ СОЛНЦА В РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Саидзода Х.С.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

***Аннотация.** В статье проведен анализ с точки зрения эффективности применения солнечной энергии в регионах Республики Таджикистан. Определены необходимые исходные данные солнечного излучения и выполнен расчет основных показателей солнечной радиации. Величина суммарной энергии солнечного излучения, высокая доля прямого солнечного излучения и продолжительности солнечного сияния создают благоприятные условия для использования солнечной радиации в Республике Таджикистан.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ресурсов солнце, электроснабжение.*

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS OF USING SOLAR RESOURCES IN THE REGIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

***Annotation.** The article provides an analysis from the point of view of the efficiency of using solar energy in the regions of the Republic of Tajikistan. The necessary initial data of solar radiation have been determined and the main indicators of solar radiation have been calculated. The amount of total solar radiation energy, the high proportion of direct solar radiation and the duration of sunshine create favorable conditions for the use of solar radiation in the Republic of Tajikistan.*

***Keywords:** renewable energy sources, solar resources, electricity supply.*

На сегодняшний день промышленность нашей стране, как и ее экономика в целом, находится на стадии восстановительного роста. В связи со стабилизацией социально-экономической ситуации и увеличением объемов производства в последние годы наблюдается рост потребления электрической и тепловой энергии, при этом опережающими темпами растет объем потребления электрической энергии.

С учетом вышесказанного и внушительной интенсификации освоения нетрадиционных экологически чистых возобновляемых источников энергии, наиболее перспективным и важным направлением повышения энергетической эффективности систем электроснабжения Республики Таджикистан является использование в энергетическом балансе отдельных регионов возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Для оценки энергетической эффективности систем электроснабжения на основе ВИЭ на территории Республики Таджикистан первоочередным является проведение качественного и количественного анализа, отражающего эффективность и перспективность применения данных источников энергии [1].

Критерии оценки использования ресурсов солнца в Файзабадском районе Республики Таджикистан

В связи с тем, что характер прихода солнечного излучения на Землю меняется в течение года, для получения более достоверных результатов расчета валового потенциала солнечной энергии необходимо наличие информации о приходе солнечной энергии на горизонтальную площадку за период, больше чем 11 лет, который также называется циклом Вольфа, но предпочтительнее всего иметь информацию о наблюдениях не менее 25-50 лет в зависимости от рассчитываемых показателей [2].

В солнечной энергетике существуют три основных показателя [2]:

1. энергия или поток солнечного излучения за заданный интервал времени: $\mathcal{E}(T)$; $\mathcal{E}(\Delta t)$.
2. мощность или интенсивность потока солнечного излучения в момент времени t , $R(T)$;
3. продолжительность солнечного сияния за заданный интервал времени (T или Δt).

Величина T_{CC} , характеризует собой то время, в течение которого середина солнечного дня находится над горизонтом в данной точке поверхности земли [2].

Получение значений указанных показателей возможно с помощью системы базы данных NASA POWER [3].

В данной работе для получения значений вышеуказанных показателей использованы обе системы базы данных, содержащих данные, полученные путем многолетних наблюдений за длительный период времени, который насчитывает несколько десятков лет.

В связи с отсутствием актинометрической станции в Файзабадском районе и близлежащих селах на его территории, воспользуемся для получения необходимой информации станцией Чормагзак, место нахождения $38^{\circ} 25'$ с.ш., $69^{\circ} 10'$ в.д. расположенной в городе Вахдат на расстоянии около 20 км от районного центра Файзабад.

Полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Среднемесячные часовые суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности, кВт·ч/м²

Мес.	Часовой интервал (истинное солнечное время)																								Σ	
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24		
I	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,07	0,13	0,19	0,23	0,23	0,19	0,14	0,08	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3
II	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,12	0,19	0,25	0,29	0,29	0,26	0,19	0,12	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8
III	0	0	0	0	0	0	0,02	0,11	0,19	0,28	0,36	0,41	0,41	0,36	0,29	0,21	0,13	0,04	0	0	0	0	0	0	0	2,8
IV	0	0	0	0	0	0	0,10	0,21	0,34	0,45	0,54	0,60	0,60	0,55	0,48	0,38	0,26	0,13	0,01	0	0	0	0	0	0	4,7
V	0	0	0	0	0	0	0,17	0,33	0,47	0,59	0,68	0,73	0,73	0,68	0,59	0,48	0,33	0,18	0,06	0	0	0	0	0	0	6,0
VI	0	0	0	0	0,02	0,08	0,21	0,36	0,51	0,64	0,73	0,78	0,78	0,73	0,64	0,51	0,36	0,21	0,07	0,01	0	0	0	0	0	6,6
VII	0	0	0	0	0,01	0,07	0,19	0,34	0,48	0,60	0,69	0,76	0,76	0,70	0,63	0,51	0,36	0,21	0,06	0	0	0	0	0	0	6,4
VIII	0	0	0	0	0,03	0,13	0,28	0,43	0,55	0,64	0,70	0,70	0,64	0,56	0,45	0,30	0,14	0,03	0	0	0	0	0	0	0	5,6
IX	0	0	0	0	0	0,06	0,17	0,30	0,43	0,53	0,60	0,60	0,55	0,46	0,33	0,18	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	4,3
X	0	0	0	0	0	0,01	0,07	0,17	0,27	0,35	0,40	0,40	0,36	0,28	0,20	0,09	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6
XI	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,14	0,19	0,22	0,22	0,20	0,16	0,09	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3
XII	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,09	0,13	0,15	0,15	0,14	0,10	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8
Σ	0	0	0	0	0,3	0,9	1,9	3,2	4,3	5,3	5,9	5,9	5,4	4,5	3,4	2,1	1,0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	44,2

Основные показатели солнечного излучения за j -ый месяц года или за среднегодовые сутки определяется формулам [4]:

$$\bar{\mathcal{E}}_{сутj} = \frac{\mathcal{E}_{месj}}{n_{сутj}} \quad (1)$$

$$\bar{\mathcal{E}}_{годj} = \frac{\mathcal{E}_{год}}{365} \quad (2)$$

Среднемесячное значение альбедо имеет вид:

$$\bar{\rho}_{месj} = \frac{1}{3}(\rho_{9^{00}} + \rho_{12^{00}} + \rho_{15^{00}}) \quad (3)$$

где $\rho_{9^{00}}, \rho_{12^{00}}, \rho_{15^{00}}$ - среднемесячные значения альбедо поверхности (средневзвешенные), измеренные или зафиксированные в 9⁰⁰, 12⁰⁰ и 15⁰⁰ каждых суток j -го месяца.

Среднегодовое значение альбедо поверхности $\bar{\rho}_{год}$, % определяется:

$$\bar{\rho}_{год} = \frac{\mathcal{E}_{отр}^{год}}{\mathcal{E}_{год}^{\Sigma}} \cdot 100 \quad (4)$$

Солнечное излучение при поступлении на площадку, расположенной на поверхности Земли, распределяется на три составляющих: прямая $R_{пр}(t)$, диффузная или рассеянная $R_{д}(t)$ и отраженная $R_{отр}(t)$ от поверхности Земли, рис.

1. Говоря другими словами, суммарный поток солнечного излучения $R_{\Sigma}(t)$ в

каждый момент времени t будет представлять собой сумму этих составляющих [4]:

$$R_{\Sigma}(t) = R_{пр}(t) + R_{д}(t) + R_{отр}(t) \quad (5)$$

Наиболее предпочтительным для оценки общего состояния прихода солнечного излучения за разные интервалы времени (Δt) (1 час; 1 сутки; 1 месяц; 1 год) являются следующие показатели: суммарная, прямая и диффузная энергия солнечного излучения, приходящая на горизонтально-ориентированную приемную площадку к поверхности Земли а также продолжительность солнечного сияния на определенной местности факт $T_{CC}(\Delta t)$.

Основные показатели, позволяющие ориентировочно оценить эффективность и перспективность использования солнечной энергии в заданной точке поверхности Земли, являются:

\mathcal{E}_{Σ}^r ($\mathcal{E}_{пр}^{сут}$) – суммарная (прямая) энергия солнечного излучения, приходящая на горизонтальную к поверхности Земли приемной площадки в течение 1 года; C_S – коэффициент асимметрии; R – интенсивность потока солнечного излучения на 1 м² приемной площадки; C_V – коэффициент вариации.

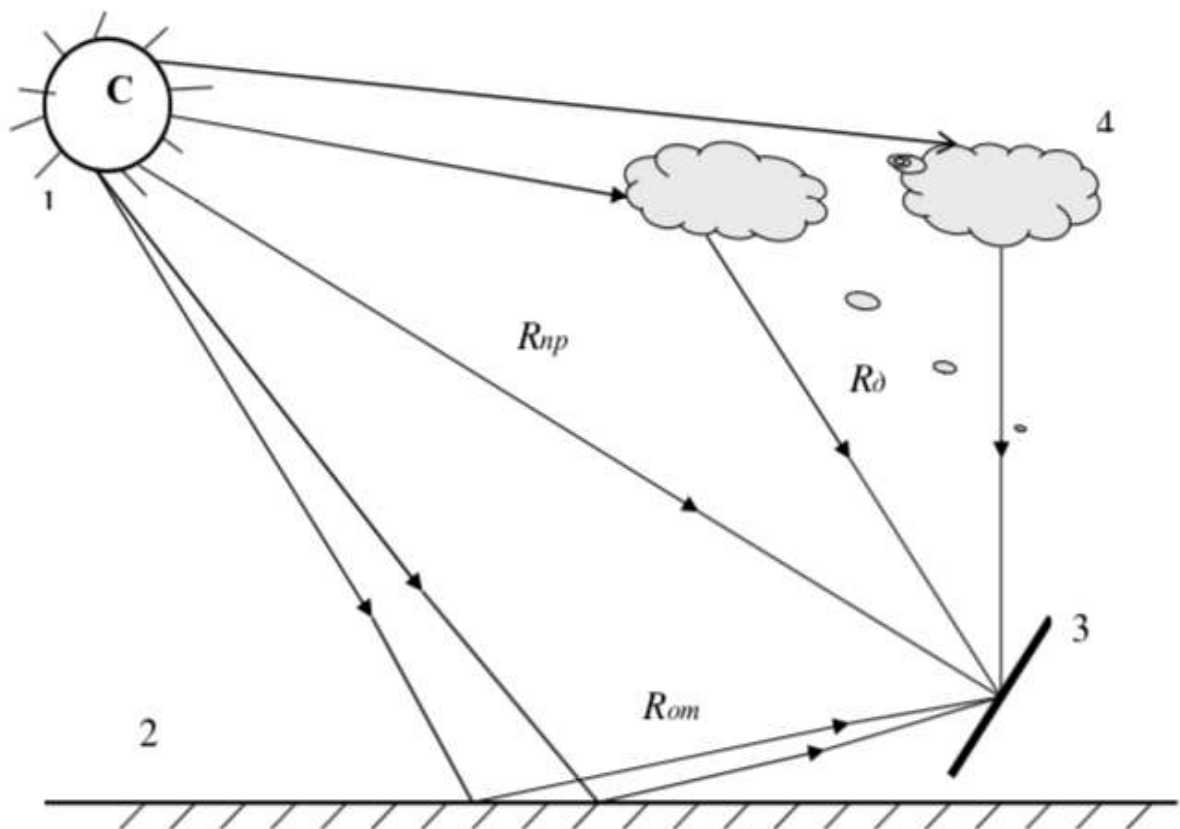


Рис. 1. Потoki солнечной радиации, поступающие на поверхность Земли: 1- Солнце, 2 –поверхность Земли, 3 – приемная площадка, 4 – облака, аэрозоли, пыль.

Результаты расчетов по соотношениям (1) - (5), приведены в табл. 2.

В данной таблице также представлены рассчитанные по табл.1 и рис.1 значения вышеуказанных показателей в Файзабадском районе для оценки перспективности использования солнечной энергии в данном регионе.

Таблица 2.

Перспективные и рассчитанные для Файзабадского района показатели солнечного излучения

Показатели СИ	Перспективные условия	Рассчитанные значения
\mathcal{E}_{Σ}^r , кВт ч/(м ² год)	1444 - 1666	1348
$\mathcal{E}_{пр}^{сут}$, % от $\mathcal{E}_{\Sigma}^{сут}$ летом	63 - 65	61,3
$\mathcal{E}_{пр}^{сут}$, % от $\mathcal{E}_{\Sigma}^{сут}$ до полудня	70 - 80	62
C_S	< 0	- 0,253
время с $R \geq 600$ Вт/м ² , % от года	20 - 35	9
C_V , % по \mathcal{E}_{Σ}^r	2 - 4	1,2

Выводы

Приведенные климатические характеристики и проведенные расчёты позволяют сделать следующие выводы об использовании солнечной энергетики в Республике Таджикистан, в частности, в Файзабадском районе, и утверждать об эффективности и перспективности развития данной отрасли:

1. Суммарная энергия солнечного излучения, приходящая на горизонтальную к поверхности Земли приемную площадку, составляет 1348 кВт·ч/ (м² год), что почти соответствует значению перспективных условий развития солнечной энергетики;

2. Высокая доля прямого солнечного излучения, составляющая 61,3 % от суммарного солнечного излучения, что также близко к значениям перспективных условий развития солнечной энергетики;

3. Показатель суммарного месячного солнечного излучения летом в среднем составляет 189 600 Вт/м², зимой – 35 300 Вт/м².

4. Максимальный среднемесячный часовой приход солнечной радиации составляет 780 Вт·ч/м²

5. Продолжительность солнечного сияния колеблется от 4320 – 4464 часов.

Литература

1. Сангов, Х. С. Применение солнечных фотоэлектрических установок в системах электроснабжения сельских потребителей (На примере удаленных регионов Республики Таджикистан) / Х. С. Сангов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2020. – № 4(52). – С. 30-38.

2. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 276с.

3. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 13.10.2023).

4. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 276 с.

Сведения об авторе:

Саидзода Х.С. – к.т.н., и.о. доцент кафедры Электроснабжение, ТТУ имени академика М.С. Осими. E-mail: khushdil.sangov@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОСТОЧНОГО ВЫСОКОГОРНОГО МУРГАБА

Саидзода Х.С.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

***Аннотация.** В статье определен принцип электроснабжения восточного высокогорного Мургаба с использованием генерирующих источников, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии. Проведен расчет электрических нагрузок по выбранному методу в соответствии с суточным (дневным и вечерним) графиком электрических нагрузок. На основе этих данных для более нагрузочного режима определено годовое потребление электроэнергии. Рассчитаны энергетические характеристики, вырабатываемые выбранными ветроэнергетическими и солнечными фотоэлектрическими установками.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ветроэнергетическая установка, солнечная фотоэлектрическая установка, электротехнический комплекс.*

APPLICATION OF HYBRID ELECTRICAL COMPLEXES FOR POWER SUPPLY INFRASTRUCTURE OF THE EASTERN HIGH MOUNTAIN MURGAB

***Annotation.** The article defines the principle of power supply to the eastern high-mountain Murgab using generating sources operating on the basis of renewable energy sources. Electrical loads were calculated using the chosen method in accordance with the daily (day and evening) schedule of electrical loads. Based on these data, the annual electricity consumption was determined for a higher load mode. The energy characteristics generated by selected wind and solar photovoltaic installations are calculated.*

***Keywords:** renewable energy sources, wind power plant, solar photovoltaic plant, electrical complex.*

В настоящее время в Таджикистане актуальным вопросом является обеспечение электроэнергией удаленных горных районов страны. К таким районам относится большая часть восточных районов страны. Подключение таких районов к единой энергосистеме не всегда целесообразно с учетом показателей качества и надежности электроснабжения. Среди них стоит выделить высокогорный Мургабский район Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО).

В ряде государственных программ по развитию энергетики Республики Таджикистана сделан акцент на внедрении нетрадиционных и возобновляемых источников энергии [1, 2]. В высокогорном Мургабском районе использование солнечной энергетики является эффективным [3]. Поэтому в работе рассмотрим варианты использования ветровой и солнечной энергий.

Под электроснабжением понимается обеспечение потребителей электроэнергией (ЭЭ). В настоящее время применяются три принципа электроснабжения [4]:

1. децентрализованный, когда обеспечение электроэнергии осуществляется за счет собственных источников, не связанных с общей энергетической системой;
2. централизованный, при котором электроснабжение осуществляется от общей электроэнергетической системы;
3. распределенная генерация, когда наряду с централизованным электроснабжением применяются потребительские генерирующие установки.

Определение мощности электротехнического комплекса жилого поселка Мургаба проведем по СП-256.1325800.2016 [5] и типовым проектам домов площадью до 150 м² с установленной мощностью 15 кВт. Расчетная мощность жилого сектора составит:

$$P_{\text{расч.жил}} = N_{\text{дм}} P_{\text{раз.дм}} K_c K_0 = 30 \cdot 15 \cdot 0,75 \cdot 0,22 = 74,3 \text{ кВт} \quad (1)$$

Расчетные коэффициенты приняты из [5].

Расчетная мощность коммерческих помещений площадью до 100 м² и общая нагрузка:

$$P_{\text{расч.ком.пом}} = N P_{\text{н.ком.пом}} K_0 = 8 \cdot 15 \cdot 0,38 = 45,6 \text{ кВт} \quad (2)$$

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{расч.жил}} + P_{\text{расч.ком.пом}} = 74,3 + 45,6 = 119,9 \text{ кВт} \quad (3)$$

Расчетная мощность наружного освещения в соответствии с генеральным планом поселения составит примерно 15 кВт, сторонняя нагрузка 21,6 кВт, тогда:

$$P_{\text{расч.ЭТК}} = 119,9 + 15 + 21,6 = 156,5 \text{ кВт} \quad (4)$$

Определим годовое потребление электроэнергии электротехническим комплексом по числу часов использования максимума из [6]:

$$W_{\text{год}} = P_{\text{расч.ЭТК}} T_{\text{max}} = 156,6 \cdot 3200 = 500800 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (5)$$

Определив мощность электротехнического комплекса, можно перейти к определению мощности энергоустановок.

Для разработки алгоритма выбора оптимального состава источников электроэнергии и проведения сравнительного анализа рассмотрим в качестве источников электроэнергии ветроустановки с различным количеством и параметрами.

Ветроустановки характеризуются тремя значениями скорости ветра [7]:

V_p^{\min} - минимальная (стартовая) скорость ветра (от 3 до 4,5 м/с), заставляющая ветроколесу вращаться и ветроустановке начать работать;

V_p^N - расчетная (номинальная) скорость ветра (от 10 до 13 м/с), то есть минимальная скорость ветра, при которой ветроустановка работает с номинальной мощностью $N_{уст}^{ВЭУ}$;

V_p^{\max} - максимальная скорость ветра (20-25 м/с), при достижении которой в целях безопасности работа ветроустановки останавливается.

Мощность, вырабатываемая ВЭУ, определяется следующим выражением:

$$P_{ВЭУ}(V) = P_B(V) \eta_{аэр} \eta_{мех} \eta_{эл} \quad (6)$$

где $P_B(V)$ - мощность ветрового потока, приходящегося на ветроколесо ВЭУ:

$$P_B(V) = 0,5 \rho V(t)^3 F_{БК} \quad (7)$$

где ρ (кг/м³) - плотность воздуха, ($\rho_0 = 1,226$ кг/м³ при нормальных условиях: $T = 15^0 C$); $V(t)^3$ (м/с)³ - скорость воздушного потока на высоте башни ВЭУ в момент времени t ; $F_{БК}$ (м²) - поперечное сечение воздушного потока, приходящего на ветроколесо (БК) (ометаемая площадь БК), зависящее от профиля ветроколеса, например, для горизонтального-осевых ВЭУ с диаметром ветроколеса $D_{БК}$:

$$F_{БК} = 0,25 \pi D_{БК}^2 \quad (8)$$

где $\eta_{аэр} \eta_{мех} \eta_{эл}$ - КПД механизмов ВЭУ (аэродинамического, механического и электрического соответственно):

$$\eta_{аэр} \eta_{мех} \eta_{эл} = C_p \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6 \eta_7 \quad (9)$$

где C_p - коэффициент эффективности использования ветрового потока или коэффициент мощности ротора ветроколеса; η_2 - КПД подшипников; η_3 - КПД редуктора (коробки передач); η_4 - КПД генератора; η_5 - КПД

преобразователя частоты; η_6 - КПД компенсатора реактивной мощности и фильтра гармоник; η_7 -КПД трансформатора.

Максимальное значение коэффициента мощности ротора, называемая константой Н.Е. Жуковского или А. Бетца составляет 0,593. Для реальных ВЭУ достижение этого значение практически невозможно, и оно обычно находится в пределах 0,4...0,45 для наиболее эффективных ветротурбин [7].

Подставляя формулы (7) и (8) в (9), получим формулу для расчета мощности, вырабатываемой ВЭУ:

$$P_{ВЭУ}(V) = 0,125 \rho V(t)^3 \pi D_{ВК}^2 \eta_{аэп} \eta_{мех} \eta_{эл} \quad (10)$$

Расчет электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ по повторяемости скоростей ветра за период T :

$$\mathcal{E}_{ВЭУ}(T) = \sum_{j=1}^{P^{пр}} [P_{ВЭУ}(V^{-h\delta}) t(\Delta V_j^{пр})] T \quad (11)$$

где $P^{пр}$ - количество градаций (диапазонов) повторяемости скоростей ветра; T - период наблюдения, ч; $V^{-h\delta}$ - средняя скорость j -ой градации (интервала), м/с, пересчитанная на высоту башни ВЭУ; $t(\Delta V_j^{пр})$ - повторяемость скоростей ветра ΔV диапазона, ед.

Коэффициент полезного действия ВЭУ определяется отношением полезной мощности, вырабатываемой ВЭУ, к мощности воздушного потока:

$$\eta = P_{ВЭУ}(V) / P_B(V) \quad (12)$$

В табл.1 приведены технические характеристики ветроустановок на 150 кВт и 50 кВт для которых рассчитаны их энергетические характеристики.

Главная схема электрического соединения данной ветроустановки представлена на рис. 1

В табл. 2. приведены результаты расчета электрической энергии, вырабатываемой ветроустановкой Wind World W2700, мощностью 150кВ.

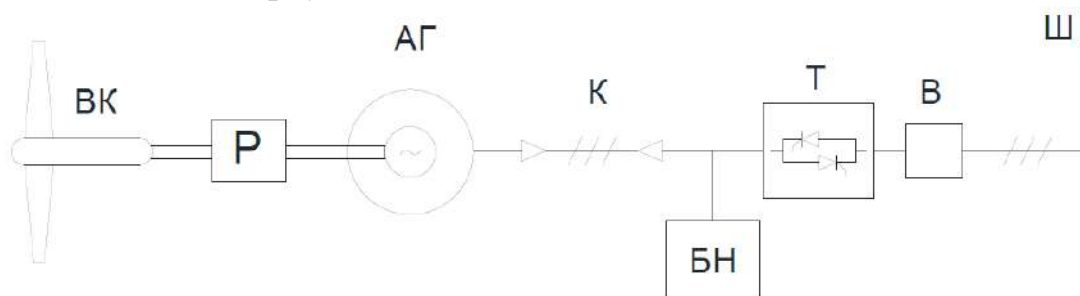


Рис.1. Главная схема электрического соединения ветроустановки: В – ветроэнергетическая установка; Р – редуктор; АГ – асинхронный генератор; К

–гибкий кабель; БН - блок балластных нагрузок; Т – устройства плавного (тиристорного) пуска; В - выключатель; Ш - шина

Таблица 1. Технические характеристики выбранных ВЭУ [8]:

1	Тип ВЭУ	Wind World W2700	Hummer H17.0-50кВт
	Страна	Дания	Китай
	Номинальная мощность, кВт	150	50
2	Номинальная скорость ветра, м/с	11	9,5
3	Стартовая скорость ветра, м/с	3,0	3,5
4	Скорость отключения, м/с	25	20
5	Диаметр ротора, м	27	17
6	Число лопастей	3	3
7	Тип генератора	Асинхронный	Генератор с постоянным магнитом. Технология SCF
8	Напряжение, В	400	400
9	Способ включения в сеть	Тиристорный	Через инвертор
10	Система регулирования мощности	Stall	Pitch
11	Регулирование числа оборотов	Две ступени	Две ступени
12	Высота башни, м	41	36

На рис. 2. изображен график динамической зависимости вырабатываемой мощности ветровым генератором Wind World W2700 от скорости ветра.

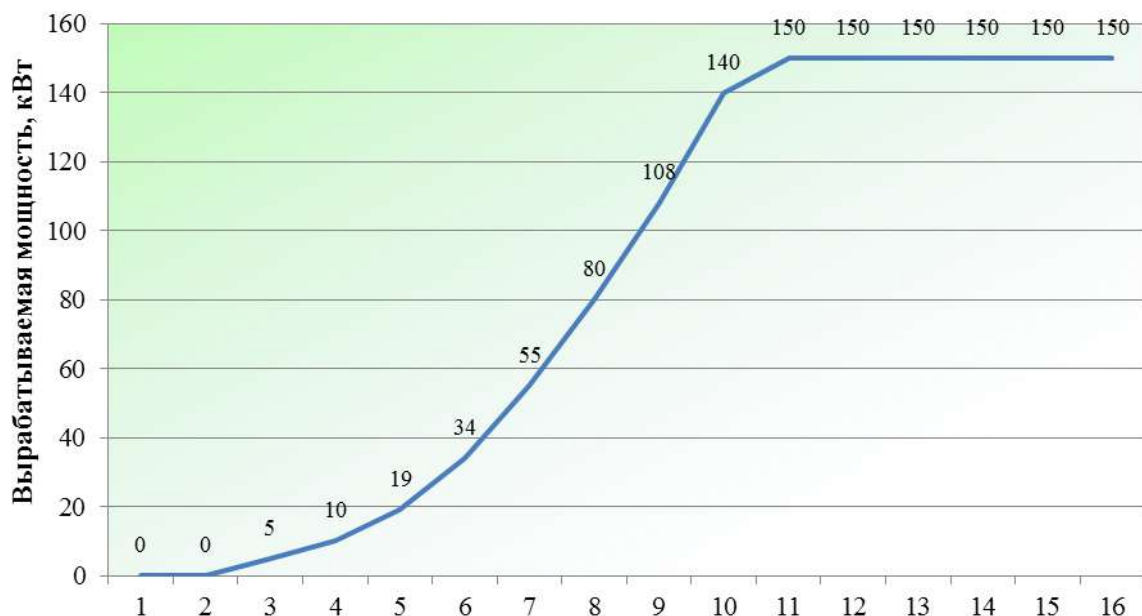


Рис. 2. График зависимости вырабатываемой мощности от скорости ветра для ветрогенератора Wind World W2700, мощностью 150 кВт

Таблица 2

Расчет производства ЭЭ ВЭУ типа мощность 150 кВт

Диапазон скорости ветра	Средняя скорость ветра, м/с	Вероятность скорости ветра, %	Количество часов в году, ч	Мощность ВЭУ, кВт	Производство эл/эн, кВт·ч
0 – 2 м/с	1,0	9,5	832,2	0,0	0
3 – 6 м/с	4,5	52,2	4577,1	10,0	45771
7 – 10 м/с	8,5	31,0	2715,6	85,0	230826
11 – 14 м/с	12,5	7,0	613,2	160,0	98112
15 – 18 м/с	16,5	0,25	21,9	150,0	3285
19 – 25 м/с	22,0	0,0	0,0	140,0	0
Итого		100,0			377 994,0

Как показывают данные из табл. 2, расчетная годовая выработка электроэнергии одной ветроустановкой мощностью 150 кВт составила 377 994,0 кВт·ч, что меньше величины годового электропотребления 500 800 кВт·ч. В этой связи для обеспечения рассматриваемой группы потребителей необходимым количеством электроэнергии необходимо однако целесообразнее будет установить две ВЭУ по 150 кВт. Тогда их суммарная годовая выработка электроэнергии составит 755 988 кВт·ч, что превышает необходимую величину электропотребления на 33 %.

В табл.3 приведены результаты расчета электрической энергии, вырабатываемой ветроустановкой Humber H17.0, мощностью 50 кВт.

Таблица 3

Расчет производства ЭЭ ВЭУ типа мощность 50 кВт

Диапазон скорости ветра	Средняя скорость ветра, м/с	Вероятность скорости ветра, %	Количество часов в году, ч	Мощность ВЭУ, кВт	Производство эл/эн, кВт·ч
0 – 2 м/с	1	9,5	832,2	0,0	0
3 – 6 м/с	4,5	52,2	4577,1	11,0	50348,1
7 – 10 м/с	8,5	31,0	2715,6	36,0	97761,6
11 – 14 м/с	12,5	7,0	613,2	50,0	30660
15 – 18 м/с	16,5	0,25	21,9	50,0	1095
19 – 25 м/с	22,0	0,0	0,0	50,0	0
Итого		100,0			179 864,7

Расчетная годовая выработка электроэнергии одной ветроустановкой мощностью 50 кВт составила 179 864,7 кВт·ч и коэффициент использования установленной мощности равен 41,1%.

Ввиду наличия в составе поселения Мургаб потребителей II категорий надежности электроснабжения, согласно ПУЭ 1.2.20 [9], электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. В связи с этим в качестве второго источника электроэнергии в зависимости от варианта схемы можно рассматривать ВЭУ с идентичными техническими характеристиками или солнечные фотоэлектрические установки (СФЭУ), техническими характеристиками которых приведены ниже.

Так как эффективность работы ВЭУ и СФЭУ напрямую зависит от климатических характеристик ветра и солнца, необходимо предусмотреть третий источник питания - дизельный генератор (ДГ), который обеспечит электроэнергией потребителей в случае неблагоприятных для ВЭУ и СФЭУ погодных условиях.

Что касается мощности, вырабатываемой солнечными фотоэлектрическими установками, она определяется по формуле:

$$N_{СФЭУ} = R_{СИ} \eta_{СФЭУ} S_{СФЭУ} k_{прон} k_{зан} n \quad (13)$$

где $R_{СИ}$ – мощность солнечного излучения, приходящего на плоскую приемную площадку СФЭУ, Вт/м²; $\eta_{СФЭУ}$ – коэффициент полезного действия; $S_{СФЭУ}$ – общая площадь приемной площадки СФЭУ, м²; $k_{прон}$ – коэффициент пропускания защитного слоя приемной площадки СФЭУ; $k_{зан}$ – коэффициент заполнения СФЭУ, принимаемый обычно равным 0,98-0,99 для прямоугольных солнечных элементов и менее 0,9 для круглых; n – количество СФЭУ.

Годовая выработка электроэнергии солнечными фотоэлектрическим установками:

$$P_{СФЭУ} = \sum_{i=1}^{12} R_{iСИ} \eta_{СФЭУ} S_{СФЭУ} k_{прон} k_{зан} n T_{iсу} \quad (14)$$

где $R_{iСИ}$ – мощность солнечного излучения i -го месяца, приходящего на плоскую приемную площадку СФЭУ; $T_{iсу}$ – количество солнечных дней в i -м рассматриваемом месяце.

В виду высоких темпов развития научно-технического прогресса повышается и коэффициент полезного действия СФЭУ. На сегодняшний день применяют следующие солнечные элементы:

- поликристаллические однослойные кремниевые солнечные элементы с КПД в 10-20%;
- монокристаллические: двухслойные с КПД 30%, трехслойные – 35-40%;
- аморфные с КПД до 10%;
- однослойные соленные элементы из арсенида галлия с КПД в 30-40%.

В качестве солнечных модулей выбирались поликристаллическая модули EnergyWind W Solar Panel 250 Вт [10] в количестве 40 шт, номинальной мощностью 10 кВт.

Выводы

Рассмотрены два варианта ветроустановок различной установленной мощности для разработки конфигураций схем электроснабжения поселения на их основе и дальнейшего проведения их сравнительного анализа и выбора наиболее эффективного. Рассчитаны энергетические характеристики, вырабатываемые выбранными ВЭУ, в том числе для различных скоростей ветра, на основании параметров ветра, таких как: мощность ветрового потока, количество градаций (диапазонов) повторяемости скоростей ветра, средней скорости j -ой градации (интервала) и повторяемости скоростей ветра диапазона. Также предложен метод расчета энергетических характеристик для солнечных фотоэлектрических установок.

Литература

1. Закон Республики Таджикистан «Об энергосбережении и энергоэффективности» 2013 г. – №1018. – 9 с.
2. Закон Республики Таджикистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» 2010 г. – №1. – 11 с.
3. Сангов Х.С. Применение солнечных фотоэлектрических установок в системах электроснабжения сельских потребителей (На примере удаленных регионов Республики Таджикистан) / Х. С. Сангов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2020. – № 4(52). – С. 30-38.
4. Крюков А.В. Источники и потребители электроэнергии. Иркутск: 2014. 116 с.
5. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. АО «ЦНИИПромзданий», 2017. 92 с.
6. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства. М: Колос, 2000.

7. ВЭУ в г. Лабытнанги // ПАО «Передвижная энергетика» URL: <http://передвижная-энергетика.рф/projects/veu-v-g-labytnangi/> (дата обращения: 10.11.2023).

8. Дорофеев В.В. «Умные» сети в электроэнергетике // Energyland.info URL: <http://www.energyland.info/analitic-show-45305> (дата обращения: 12.11.2023).

9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) // КонсультантПлюс URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91542/766996efc92710496eef2d642f6e40df3bec3dcf/ (дата обращения: 10.11.2023).

10. Wind Energy Data // The International Renewable Energy Agency (IRENA) URL: <https://www.irena.org/wind> (дата обращения: 12.11.2023).

Сведения об авторе:

Саидзода Х.С. – к.т.н., и.о. доцент кафедры электроснабжение, ТТУ имени академика М.С. Осими. E-mail: khushdil.sangov@mail.ru

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сафаров М.И., Саидов М.А., Вайсиддинов Д.Т., Юнусов С.Р.

Научный руководитель – к.т.н. Хасанзода Н.

ГТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: manu_1804@mail.ru

***Аннотация.** Мониторинг и диагностирование технического состояния трансформаторов являются необходимыми условиями внедрения технологии Smart Grid в промышленных электрических сетях. Подтверждена тенденция к старению трансформаторного оборудования. Обоснованы функции диагностической системы. Представлены описание и состав оборудования системы мониторинга, внедренной на силовых трансформаторах. Приведены примеры трендов, позволяющих контролировать диагностические параметры в реальном времени.*

***Ключевые слова:** силовые трансформаторы, техническое состояние, система мониторинга, требования, состав оборудования, внедрение, эффективность.*

DIAGNOSIS OF THE TECHNICAL CONDITION OF TRANSFORMER EQUIPMENT

***Annotation.** Monitoring and diagnosis of transformers technical state is a mandatory requirement for smart Grid technology implementation in industrial electrical networks. It is found that there is a tendency to aging of transformer facilities. Functions of diagnosis system are explained. The authors describe the configuration of the monitoring system introduced in power transformers. They offer examples of trends, which make it possible to control test parameters on-line.*

***Keywords:** power transformers, technical state, monitoring system, requirements, configuration, introduction, efficiency.*

Энергетическая безопасность и надежность электроснабжения промышленных предприятий во многом определяются работой силовых трансформаторов, обеспечивающих согласование комплекса с системой и преобразование ряда параметров электроэнергии в требуемые для дальнейшего ее использования. Высокая степень износа трансформаторов создает потенциальную опасность как для потребителей, так и для обслуживающего персонала.

Внедрение средств мониторинга и диагностирования технического

состояния высоковольтных трансформаторов является важнейшей задачей при реализации технологии Smart Grid в энергосистемах и промышленных сетях [1]. Это связано с тем, что физический износ силового электрооборудования в энергетической системе достигает 70-80%. В этих условиях актуальность диагностирования технического состояния трансформаторного оборудования обусловили следующие причины [2]:

- рост количества трансформаторов с истекшим нормативным сроком эксплуатации, что приводит к увеличению числа отказов;
- низкая эффективность тестового контроля, проводимого методами, регламентированными ГОСТ;
- необходимость продления срока эксплуатации сверх нормативного, вплоть до выработки реального, заложенного изготовителем ресурса;
- тенденция перехода от системы плановопредупредительных ремонтов к ремонтам по состоянию.

Эксплуатация трансформаторного оборудования за пределами нормативного срока службы стала общемировой тенденцией, хотя очевидно, что без принятия специальных мер она сопряжена с повышенными рисками отказов. Вместе с тем замена огромного количества дорогостоящего оборудования в короткий отрезок времени невозможна технически и не оправдана экономически.

Снижение рисков отказов и уменьшение эксплуатационных затрат обеспечивает установка на трансформаторы автоматизированных систем управления, мониторинга и оперативной диагностики. Задача внедрения диагностического оборудования актуальна

Трансформаторы можно условно разделить на три группы: сетевые трансформаторы подстанций, блочные, входящие в состав энергоблоков электростанций, и печные, эксплуатируемые на дуговых сталеплавильных печах кислородно – конвертерного.

Можно утверждать, что надежность трансформаторов первых двух групп в значительной степени определяет энергетическую безопасность комбината. Надежность трансформаторов является определяющим фактором обеспечения непрерывного производственного цикла.

Условия эксплуатации трансформаторов первых двух групп не имеют принципиальных отличий, хотя режимы их работы различаются. Так, например, у блочных трансформаторов возникают более частые динамические режимы, вызванные остановкой энергоблока. В то же время режимы печных трансформаторов имеют принципиальные отличия. Достаточно заметить, что режим короткого замыкания на электродах (вторичной стороне) является

рабочим, а переключение регуляторов изменения числа витков обмотки под нагрузкой (РПН) происходит до 1000 раз в сутки, в отличие от сезонных переключений трансформаторов первых двух групп (5-6 переключений в год). Отсюда следует принципиальное различие признаков неисправностей, методов и технических средств диагностирования печных трансформаторов [3].

Определено, что сетевые и блочные трансформаторы 110 кВ относятся к группе, имеющей самую высокую частоту появления повреждений. Анализ распределения повреждений по основным узлам трансформаторов показал, что наибольшую повреждаемость имеют: высоковольтные вводы - 22%, обмотки - 16%, устройства РПН - 13,5% [4].

Исследования, выполненные на однотипных трансформаторах, подтвердили прямую взаимосвязь интенсивности ЧР и длительности эксплуатации трансформатора после капитального ремонта. Накопление информации и обработка сигналов позволили определить количественные характеристики ЧР. Выполнена оценка технического состояния по результатам замеров и сопоставления показателей разрядной активности с нормативными. Впервые предложено применение методики и алгоритма обработки

Система мониторинга должна обеспечивать для каждой единицы трансформаторного оборудования выполнение следующих функций [5]:

1. Контроль влагосодержания в масле бака. Это важный диагностический параметр, влияющий на надежность работы всего трансформатора. Для печных трансформаторов следует также контролировать содержание растворенного в масле водорода.

2. Непрерывная регистрация уровня и распределения частичных разрядов в изоляции вводов, обмоток и сердечника. Встроенная экспертная система дает возможность определить тип дефекта, частично локализовать, оценить его опасность для дальнейшей работы трансформатора. Если на трансформаторе установлена система контроля растворенных газов в масле, то совместная обработка результатов измерений ЧР и газов дает наиболее точные результаты.

3. Возможность в on-line режиме контролировать наличие деформаций обмоток трансформатора. Такие деформации возникают после воздействия ударных нагрузок, являющихся характерными для печного трансформатора. Данный вид контроля обеспечивается средствами вибродиагностики.

4. Диагностика системы охлаждения трансформатора, которая достаточно корректно выполняется на основании измерения и анализа температуры вверху и внизу бака и рабочей нагрузки трансформатора. В таких расчетах используется упрощенная тепловая модель трансформатора.

5. Техническое состояние РПН трансформатора. При помощи датчиков контролируется текущее положение РПН, мощность, потребляемая приводным двигателем в процессе коммутации. Также при помощи специальных фильтров может регистрироваться диаграмма работы контактора при каждой коммутации. Дополнительно может определяться наличие дуговых разрядов в избирателе РПН при помощи вибрационного и акустического датчиков.

Текущие значения токов обмоток трансформаторного оборудования по сторонам высокого и низкого напряжений должны передаваться в систему мониторинга.

Описание разработанной системы мониторинга

Разработана система мониторинга и многопараметрического диагностирования технического состояния, обеспечивающая непрерывный контроль следующих диагностических параметров:

- влагосодержание масла;
- состав газов, растворенных в масле;
- состояние изоляции высоковольтных вводов;
- температура верхних и нижних слоев масла в баке трансформатора;
- частичные разряды на высоковольтных вводах и в баке трансформатора.

Структура системы представлена на рис. 3, расположение оборудования на корпусе трансформатора - на фотографии, рис. 4.

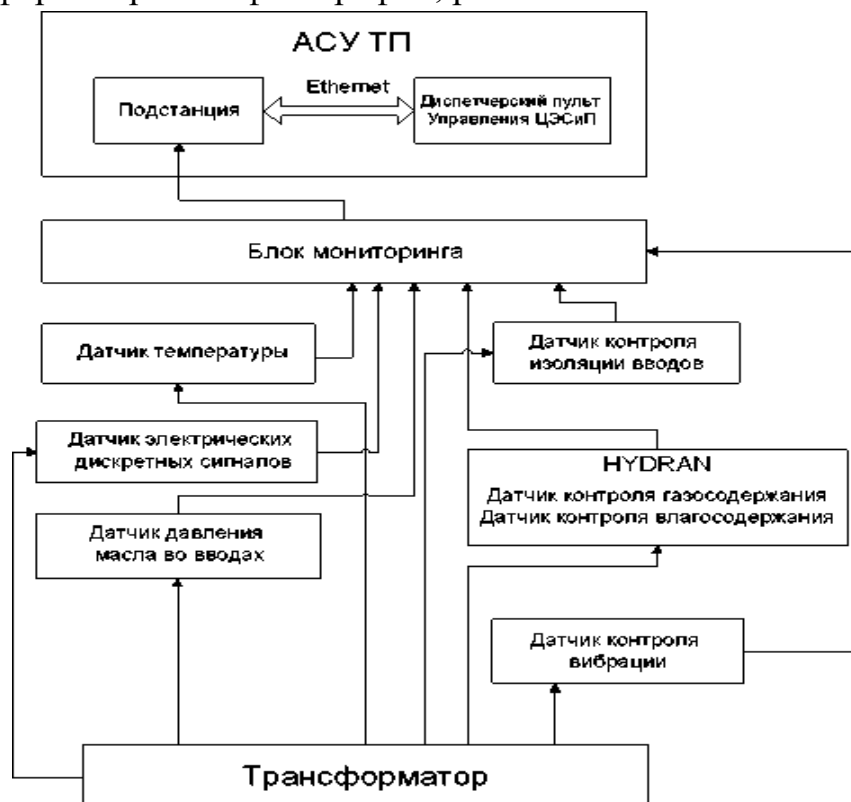


Рис. 3. Структурная схема диагностического комплекса, реализованного на трансформаторах

Диагностический комплекс выполнен на оборудовании, которое эксплуатируется на многих отечественных и зарубежных энергетических объектах. Основными диагностическими приборами являются анализатор газов, растворенных в масле, типа Hydram M2, его расположение показано на рис. 5, а также датчики частичных разрядов, установленные на высоковольтных вводах, и датчики температуры верхних и нижних слоев масла.



Рис. 4. Установка диагностического оборудования на трансформаторе

Сбор и обработка диагностической информации осуществляются с помощью системы ТИМ-3 (рис. 6, а) либо более совершенной системы TDM P034, показанной на рис. 6, б.



Рис. 5. Подключение анализатора газов Hydran M2



а



б

Рис. 6. Системы диагностического мониторинга трансформаторного оборудования: ТИМ-3 (а) и ТДМ Р034

На рис. 7, в качестве примера, представлены тренды частичных разрядов, позволившие своевременно сделать следующие выводы. На момент диагностического обследования имелись незначительные частичные разряды в фазе С, наиболее вероятно, связанные с дефектом типа «Разряд между двумя слоями высоковольтной изоляции» (внутренний разряд) (рис. 7, а). Характерные черты данного дефекта: частичные разряды располагаются в двух симметричных угловых зонах напряжения питающей сети, максимальная интенсивность в зонах 60-75 и 220-255 эл. град. (рис. 7, б).

При последующих замерах обнаружена тенденция к появлению дефекта типа «Поверхностный разряд высоковольтного электрода» в фазе В (рис. 7, в): все импульсы сосредоточены в зоне нарастания амплитуды питающего напряжения, максимальная интенсивность в диапазонах 60-90 и 235-270 эл. град. Наиболее выражено увеличение распределения количества импульсов в секунду в фазе В на всем отрезке мониторинга, что можно наблюдать по трехмерным графикам распределения (см. рис. 7, а). Такой тип дефектов характерен для трансформаторов с высоким рабочим напряжением.

Приведенный пример показывает, что тренды диагностических параметров позволяют сделать предварительные выводы об изменении технического состояния объекта и в результате оценить степень развития дефекта.

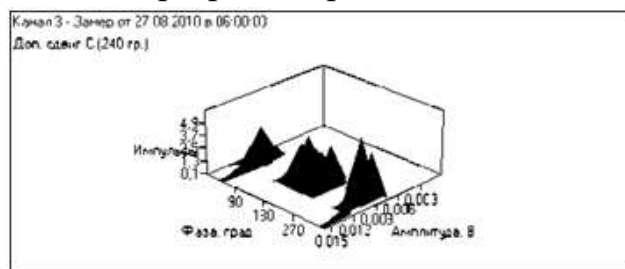
Отличием внедренной системы является подключение диагностических сигналов в систему релейной защиты «Экра», установленную на трансформаторе. На сигнализацию «неисправность» выведены:

1) сигналы Hydran:

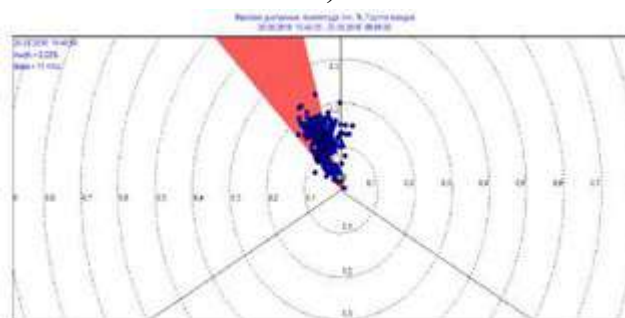
- увеличение количества газов, растворенных в масле;
- количество газа в масле критическое;
- увеличение влажности масла;

2) сигналы Tim 3 (TDM P034):

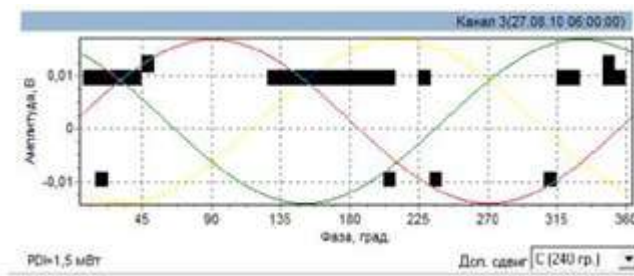
- ухудшение изоляции вводов;
- уровень частичных разрядов критический.



а)



б)



в)

Рис. 7. Примеры трендов диагностических параметров

Однако в процессе эксплуатации выявлено, что недостатком многопараметрических систем диагностирования является отсутствие апробированных инженерных методик, позволяющих идентифицировать неисправности по совокупности диагностических признаков.

В целом можно заключить, что на безремонтном интервале эксплуатации трансформатора, равном 12 годам, экономические затраты на установку систем мониторинга сравнимы с затратами на проведение комплексных обследований. Если же учитывать уровень снижения аварийных ситуаций, то эффективность внедрения систем мониторинга будет в два и более раза выше, чем при проведении периодических обследований.

Список литературы

1. Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов как составляющая SMART GRID- технологий в промышленных электросетях /А.С. Карандаев, А.А. Николаев, С.А. Евдокимов, Л.А. Маслов //Современные информационные технологии: труды международной научно-технической конференции. Пенза: Пензенская государственная технологическая академия, 2013. Вып. 17. С. 132-139.
2. Алексеев Б. А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2002. 216 с.
3. Требования к системе мониторинга технического состояния трансформатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, А.А. Сарлыбаев, Р.А. Леднов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №2. С. 58-68.
4. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов электростанций металлургического комбината /Е.А. Кузнецов, А.Я. Альбрехт, О.И. Карандаева, С.Л. Цемошевич // Изв. вузов. Электромеханика. 2011. №4. С. 82-85.
- 5.Методика диагностирования силовых трансформаторов на основе кластерной обработки акустических сигналов / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, С.Л. Цемошевич, С.Е. Мостовой, А.В. Ануфриев, А.А. Сарлыбаев

// Известия вузов. Электромеханика. 2011. № 4. С. 86-90.

Сведения об авторах:

Сафаров Манучехр Исуфович – 1992 г.р.,– ст. препод. кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими. E-mail: manu_1804@mail.ru

Саидов Мехрочиддин Абдугафорович – 2000 г.р., магистрант кафедры «Электрические станции», ТТУ им. акад. М.С. Осими.

Вайсиддинов Далер Тоджиддинович – 2000 г.р., магистрант кафедры «Электрические станции», ТТУ им. акад. М.С. Осими.

Юнусов Сайидо Раджабалиевич – 2001 г.р., магистрант кафедры «Электрические станции», ТТУ им. акад. М.С. Осими.

ДЕГРАДАЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Рахимов З.С.
р. Кушониён, Институт энергетики Таджикистана
E-mail: messi.neymar.suarres@bk.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается основная техническая проблема деградация фотоэлектрических модулей, влияющая на производительность солнечных модулей при повседневной эксплуатации. Подробно описываются разновидности деградации солнечных модулей, такие как потенциально-индуцированная деградация (PID), светоиндуцированная деградация LID, Деградация, вызванная ультрафиолетовым излучением UVID и микротрещины. По многочисленным исследовательским данным солнечные модули подвергаются деградации со средней скоростью примерно 0,4% в год, что приводит к снижению выходной мощности примерно на 12-15% к концу их срока службы 25-30 лет.

Ключевые слова: деградация, фотоэлектрический модуль (ФЭМ), эффективность, виды деградации, срок службы модуля.

DEGRADATION OF PHOTOVOLTAIC MODULES: CAUSES AND CONSEQUENCES

Abstract: This article addresses the main technical problem of photovoltaic module degradation, which affects the performance of solar modules during everyday use. Varieties of degradation of solar modules, such as potential-induced degradation (PID), light-induced degradation LID, ultraviolet radiation-induced degradation UVID and microcracks, are described in detail. According to numerous research data, solar modules undergo degradation at an average rate of approximately 0.4% per year, resulting in a reduction in power output of approximately 12-15% at the end of their 25-30 year lifespan.

Keywords: degradation, photovoltaic module (PVM), efficiency, types of degradation, module service life.

Эффективность солнечных панелей достигла беспрецедентного уровня, однако постепенное сокращение выработки электроэнергии, которую они могут генерировать, остается неизбежным. Солнечные панели премиум-класса подвергаются деградации со средней скоростью примерно 0,4% в год, что приводит к снижению выходной мощности примерно на 12-15% к концу их срока службы 25-30 лет. Деградация солнечных элементов или потенциально-

индуцированная деградация (PID) – это снижение выработки электроэнергии из-за физических изменений в структуре самой панели. В результате некоторых явлений между полупроводниковыми элементами и защитным корпусом, ламинацией или стеклянной защитой образуются паразитные связи. Через них протекают токи утечки, снижающие эффективность гелиосистемы [1].

Деградируют все существующие конструкции – поликристаллические, монокристаллические, мембранные. Вопрос в том, насколько быстро это произойдет [2].

Деградация солнечной панели включает светоиндуцированная деградация LID, потенциально-индуцированную деградацию PID, естественную деградацию, микротрещины и эффект горячих точек. Поскольку сами солнечные панели со временем используются, их компоненты естественным образом стареют и становятся менее эффективными. Основной причиной деградации солнечных панелей является естественный износ, который происходит с течением времени из-за воздействия ультрафиолетовых лучей и неблагоприятных погодных условий. Скорость деградации обычно покрывается гарантией работоспособности панели. В дополнение к этому, первоначальное воздействие солнечных панелей на солнечные лучи может стать причиной светоиндуцированной деградации LID, высокое давление, высокая температура и повышенная влажность могут стать причиной потенциально-индуцированную деградацию PID, неправильное обращение и монтаж солнечных панелей могут привести к появлению микротрещин, а также затенению места крепления. местоположение может вызвать эффект горячей точки [1,2]. В рисунке 1 показано деградация солнечных модулей.



Рисунок 1. Деградация солнечных модулей

Структура солнечных панелей

Солнечная батарея — это электронное устройство, которое напрямую преобразует солнечный свет в электричество. Свет, попадающий на солнечный элемент, производит как ток, так и напряжение для выработки электроэнергии. Для этого процесса требуется, во-первых, материал, в котором поглощение света переводит электрон в более высокое энергетическое состояние, и, во-вторых, перемещение этого электрона с более высокой энергией из солнечного элемента во внешнюю цепь. Затем электрон рассеивает свою энергию во внешней цепи и возвращается в солнечный элемент. Различные материалы и процессы потенциально могут удовлетворить требования фотоэлектрического преобразования энергии, но на практике почти во всех фотоэлектрических преобразованиях энергии используются полупроводниковые материалы в форме pn –перехода [3].

Эмиттер и база это исторические термины, которые не имеют значения в современных солнечных элементах. Эмиттер и база широко используются в литературе и являются полезными терминами для демонстрации функции слоев в pn-переходе. Свет сначала попадает в излучатель. Эмиттер обычно делается тонким, чтобы поддерживать область истощения вблизи места, где свет сильно поглощается, а основание обычно делается достаточно толстым, чтобы поглощать большую часть света. Рабочий механизм солнечного элемента приложена на рис. 2.

Основные этапы работы солнечного элемента:

- генерация световых носителей;
- сбор генерируемых светом проводимостей для генерации тока;
- создание большого напряжения на солнечном элементе; и
- рассеивание мощности в нагрузке и в паразитных сопротивлениях.

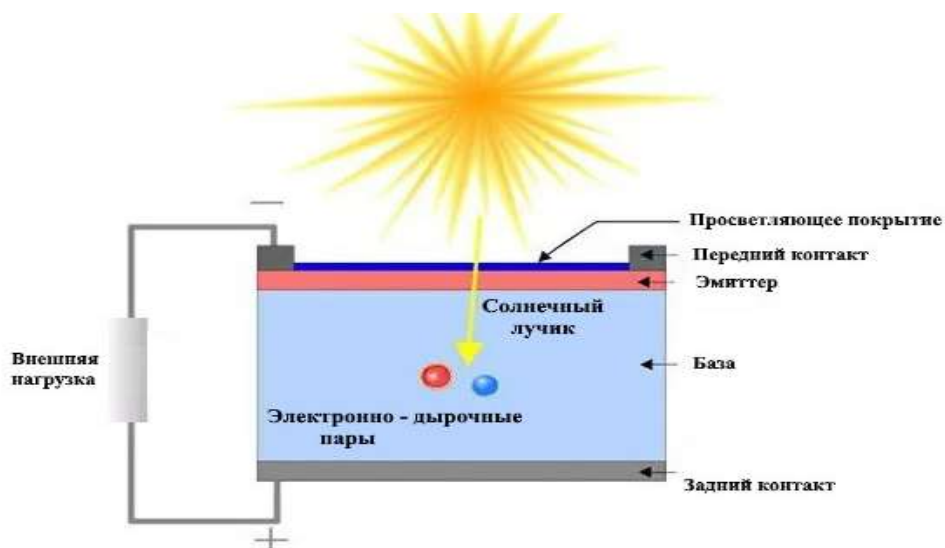


Рисунок 2. Рабочий механизм солнечного элемента

Виды деградации солнечных модулей

Светоиндуцированная деградация LID. Светоиндуцированная деградация, связанная с бором и кислородом (BO-LID), вероятно, является наиболее изученным явлением светоиндуцированного образования дефектов в кристаллическом кремнии.

Сложность и серьезность механизма деградации сделали его не только академической, но и экономически значимой областью исследований. Несмотря на то, что его 45-летняя история началась в 1973 году, динамика дефекта до сих пор частично остается загадочной, и продолжаются дебаты по поводу фактического состава дефекта [4]. Примечательным аспектом BO-LID является то, что он часто достигает точки насыщения относительно быстро, обычно в течение нескольких дней или недель. Обнадеживающая новость заключается в том, что смягчение или даже устранение последствий BO-LID возможно. К счастью, большинство производителей склонны слегка завышать номинальную мощность панели (до 5%). Этот допуск учитывает незначительный дисбаланс ячеек и компенсирует некоторую первоначальную деградацию, тем самым обеспечивая точность номинальной мощности панели (Вт). Например, панель мощностью 350 Вт изначально может производить на 5% больше мощности, потенциально достигая 368 Вт на короткий период. Тем не менее, это небольшое перепроизводство обычно кратковременно и может оставаться незаметным, если панели не работают в идеальных (STC) условиях. Гарантия производителя подробно описывает уровень LID и ожидаемое снижение производительности в течение 25-летнего гарантийного периода [2,4]. На рис. 3 представлена график деградация и регенерация солнечного модуля.

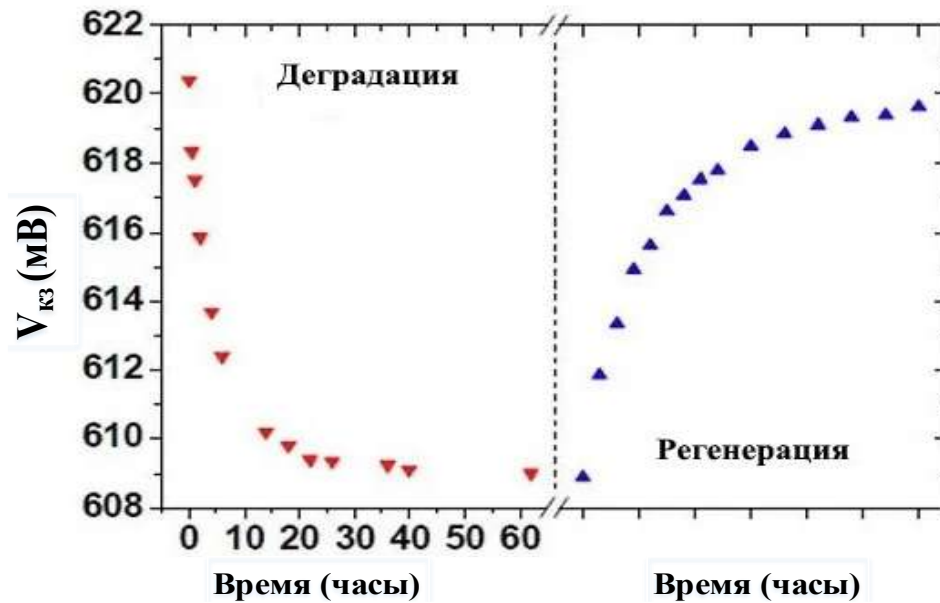


Рисунок 3. Деградация и регенерация солнечного модуля

Деградация, вызванная ультрафиолетовым излучением UVID.

UVID касается потенциального ухудшения производительности солнечных модулей после длительного воздействия ультрафиолетового излучения. Первоначальное воздействие солнечного света приводит к тому, что кристаллический оксид кремния на поверхности панели образует слой диоксида бора, что снижает ее эффективность. Эта деградация в первую очередь связана с материалами, используемыми в солнечных элементах, особенно с материалами, связанными с фотоэлектрическим преобразованием. Длительное воздействие УФ-излучения может вызвать химические реакции или разрушение материала внутри клеток, что приводит к снижению производительности. Это часто проявляется в снижении эффективности и выходной мощности. Чтобы устранить воздействие UVID, производители обычно выбирают материалы с высокой устойчивостью к ультрафиолетовому излучению, улучшают герметизирующие материалы модуля, чтобы обеспечить улучшенную защиту, и подвергают модули испытаниям на воздействие ультрафиолета для оценки их устойчивости [5]. Авторы статьи (David A. Quansah, Muyiwa S. Adaramola) в своей работе провели синтез результатов, полученных в результате плодотворных полевых исследований по ухудшению производительности фотоэлектрических модулей в Гане. В ходе исследований они проанализировали шестьдесят пять (65) модулей (моно- и поликристаллический кремний) из двадцати девяти (29) установок по всей Ганы. Модули, собранные в полевых условиях, были охарактеризованы на месте с использованием кривых вольт-амперных характеристик (ВАХ), контрольных списков визуального осмотра и тепловидения. Их результат

исследования показали, что годовые темпы снижения производительности модулей (пиковая мощность) за счет различных видов деградации, составили 0,8-7%, 0,552,0,7% и 1,1–2,4% [6].

Микротрещины и горячие точки

Микротрещины. Со временем могут появиться микротрещины, приводящие к образованию горячих точек внутри солнечных панелей. Эти проблемы могут возникнуть в результате неправильного обращения во время установки, сильных ветровых нагрузок или повреждений при транспортировке. Горячие точки – это области, в которых выделяется избыточное тепло, что может привести к повреждению панелей. Большинство современных солнечных панелей построены с использованием последовательности солнечных элементов, состоящих из ультратонких пластин кристаллического кремния. Эти пластины обычно имеют толщину около 0,16 мм, что примерно в два раза шире человеческого волоса. Естественно, и пластины, и элементы относительно хрупкие и подвержены растрескиванию или [7] разрушению при воздействии высоких механических давлений, таких как неправильное обращение во время установки, экстремальные ветровые нагрузки или сильный град. Важно отметить, что не все клетки хрупкие; Высокопроизводительные элементы IBC от известных брендов значительно более надежны благодаря обширному набору обратных контактов, которые укрепляют элемент. Современные панели часто имеют такие особенности, как полуразрезанные ячейки, которые более устойчивы к микротрещинам и горячим точкам, а также черепичные конфигурации, которые более равномерно распределяют тепловую нагрузку. На рисунке 4 приставлена микротрещины солнечного модуля.



Рисунок 4. Микротрещины солнечного модуля

Горячие точки. Солнечные элементы производят электрический ток, который течет через соединенные между собой ячейки. Когда этот поток нарушается из-за внутренней неисправности или серьезных микротрещин, повышенное сопротивление приводит к выделению тепла. Это, в свою очередь, еще больше усиливает сопротивление, что приводит к образованию горячей точки. В тяжелых случаях горячая точка может даже вызвать повреждение клетки. Для получения более подробной информации вы можете обратиться к подробной статье Maysun Solar, в которой подробно рассматриваются механизмы микротрещин и то, как новые конструкции панелей и инновации могут снизить вероятность развития микротрещин [8].

И горячие точки, и микротрещины не всегда видны невооруженным глазом. Часто единственный способ определить, повреждена ли солнечная панель – это использовать специальную тепловизионную камеру, которая выявляет разницу температур между различными ячейками. Важно отметить, что стойкое затенение от препятствий на крышах может в некоторых случаях приводить к постепенному образованию горячих точек в течение нескольких лет, прежде всего за счет обратного токового воздействия затененных ячеек.

Заключение

В заключениях необходимо отметить, что деградация солнечных панелей это процесс постепенное снижение их выходной мощности или эффективности при долгой эксплуатации. Это естественный процесс, на который влияют самые разные факторы, как внутренние, так и внешние. Важно отметить, что все солнечные панели деградируют, но скорость и степень деградации могут различаться. Качественные панели часто сохраняют эффективность производства до 90% даже после 20-25 лет эксплуатации. Степень деградации солнечных панелей обычно учитывается при обеспечении качества продукции их производителей.

В данной работе представлены различные виды деградации и их последствия на фотоэлектрических модулях. Выявлена, что наиболее влияния на эффективность модулей окажет светоиндуцированная деградация LID и тепловая деградация за счет высокой освещенности и повышенной температуры воздуха.

Литература

1. 2023 Guide Of Understanding Solar Panel Degradation: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maysunsolar.com/blog-2023-guide-of-understanding-solar-panel-degradation-2/> (дата обращения: 05.12.2023).

2. Solar modules degradation: causes and effects: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/@karboncns/solar-modules-degradation-causes-and-effects-db8de7f515e7> (дата обращения: 05.12.2023).

3. Solar Cell Structure: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-structure> (дата обращения: 05.12.2023).

4. A generalized model for boron-oxygen related light-induced degradation in crystalline silicon: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018AIPC.1999m0006H/abstract> (дата обращения: 05.12.2023).

5. Understanding LID (Light Induced Degradation) and its effects on solar panels: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.novergysolar.com/> (дата обращения: 05.12.2023).

6. Quansah, D.; Adaramola, M.; Takyi, G. Degradation and longevity of solar photovoltaic modules – An analysis of recent field studies in Ghana. Energy Sci. Eng. 2020, 8, 2116–2128.

7. Кирпичникова, И. М. Проблема деградации солнечных модулей и пути ее решения / И. М. Кирпичникова // Малая энергетика: проблемы, задачи и перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 15–16 июня 2023 года. – Краснодар: ФГБУ "Российское энергетическое агентство" Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ- филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России, 2023. – С. 92-97.

8. Патент на полезную модель № 218045 U1 Российская Федерация, МПК F24S 40/20. Устройство для предотвращения загрязнения и деградации солнечных модулей: № 2023107268 : заявл. 27.03.2023: опубл. 04.05.2023 / В. А. Заварухин, И.М. Кирпичникова, В.В. Шестакова; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет.

Сведения об авторах:

Махсумов Илхом Бурхонович – к.т.н., старший преподаватель, заведующий кафедрой альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 909-22-24-24, E-mail: messi.neymar.suarres@bk.ru

Давлатзода Абуфазл Нусратулло – начальник центра регистрации, консультирования и тестирования Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992)977-287-15-15,

Рахимов Зафар Саидалиевич – к.э.н., старший преподаватель, кафедры альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 935-81-60-60, E-mail: zafar.430105@mail.ru

РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ ПУТЬ К ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИИ

Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Раунов Н.М.
Институт энергетики Таджикистана, р. Кушониён,
E-mail: messi.neymar.suarres@bk.ru

***Аннотация:** В данной статье рассматривается устойчивость развития малой гидроэнергетики как основного и перспективного вида возобновляемой и чистой энергии для защиты окружающей среды и экологии. Подробно описывается разновидности малой гидроэлектростанции по установленной мощности и основные факторы, параметры такие как напор воды, скорости потока и типы турбины, которые влияют на производительность целесообразность их строительство. А также в работе оценена развития малой гидроэнергетики Таджикистана. По состоянию на 2022 год в республике построены 287 малых ГЭС и производство электроэнергии составило 21,4 миллиарда киловатт-часов, в частности от малых ГЭС наряду с крупными электростанциями. Кроме того, в работе приведены финансовые потребности и затраты на малую гидроэнергетику и его способствование социально-экономическому развитию и защите окружающей среды.*

***Ключевые слова:** малая гидроэнергетика, ГЭС, классификация малых ГЭС, напор воды, скорость потока, выбросы парниковых газов, капитальный затрат.*

DEVELOPMENT OF SMALL HYDROPOWER ENGINEERING A PATH TO ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL PROTECTION

***Abstract:** This article examines the sustainability of the development of small hydropower as the main and promising type of renewable and clean energy to protect the environment and ecology. The types of small hydroelectric power stations by installed capacity and the main factors, parameters such as water pressure, molasses speed and turbine types that affect the performance and feasibility of their construction are described in detail. The work also assessed the development of small hydropower in Tajikistan. As of 2022, 287 small hydroelectric power plants have been built in the republic and electricity production amounted to 21.4 billion kilowatt-hours, in particular from small hydroelectric power stations along with large power plants. In addition, the work presents the financial needs and costs of small hydropower and its contribution to socio-economic development and environmental protection.*

Keywords: *small hydropower, hydroelectric power station, classification of small hydroelectric power station, water pressure, flow rate, greenhouse gas emissions, capital costs.*

Две тысячи лет назад греки научились использовать силу проточной воды для вращения массивных колес, которые вращали валы их мельниц по производству пшеничной муки. А во времена расцвета гидроэнергетики в 18 веке тысячи городов по всему миру располагались вокруг небольших гидроэлектростанций. Гидроэнергетические системы используют энергию текущей воды для производства электроэнергии или механической энергии. Хотя существует несколько способов использования движущейся воды для производства энергии, русловые системы, которые не требуют больших водохранилищ, часто используются для проектов микрогидроэлектростанций, а иногда и для малых гидроэлектростанций.

В проектах русловых гидроэлектростанций часть речной воды отводится в канал, трубопровод под давлением (затвор), который доставляет ее к водяному колесу.

Сегодня проекты малой гидроэнергетики предлагают энергетические решения без выбросов для многих отдаленных сообществ по всему миру, таких как Непал, Индия, Китай и Перу, Таджикистан, а также высокоиндустриальных стран, таких как Соединенные Штаты [1].

Малая гидроэнергетика здесь относится к гидроэлектростанциям установленной мощностью менее 10 МВт. Гидроэлектростанции — это электростанции, которые производят электрическую энергию за счет привода турбин и генераторов благодаря силе гравитации падающей или текущей воды. Благодаря естественному круговороту воды, в основном испарению, ветру и дождю, вода затем возвращается к своей первоначальной высоте. Таким образом, это возобновляемая форма энергии. Малая гидроэнергетика может быть полезным источником электрификации изолированных объектов, а также может внести дополнительный вклад в национальное производство электроэнергии для удовлетворения пикового спроса.

Малая гидроэнергетика использует поток воды для вращения турбин, которые подключены к генератору для производства электроэнергии. Малые гидроэлектростанции делятся на дополнительные категории в зависимости от их размера, такие как мини- (менее 1000 кВт), микро-ГЭС (менее 100 кВт) и пико-ГЭС (менее 5 кВт) (EHSA 2005); определения могут различаться в зависимости от производителя и страны, поскольку не существует международно признанного определения малой гидроэнергетики. В Китае под

малыми гидроэлектростанциями подразумеваются мощности до 25 МВт, в Индии – до 15 МВт, а в Швеции под «малыми» гидроэлектростанциями подразумеваются мощности до 1,5 МВт. Однако мощность до 10 МВт является общепринятой нормой Европейской ассоциации малой гидроэнергетики (ESHA), Европейской комиссии и UNIPEDE (Международного союза производителей и дистрибьюторов электроэнергии) [2].

Если есть возможность хранения воды через существующую или вновь построенную плотину, то электростанция является аккумуляющей электростанцией. Если есть возможность вернуть воду в верхний резервуар путем перекачки, то это гидроаккумуляующая электростанция. Это редкость для малых гидроэлектростанций. Речные электростанции используют проточную воду для выработки электроэнергии без необходимости изменения стока реки. Мини и микро-электростанции, как правило, не имеют плотин и поэтому являются речными электростанциями. После использования вода, используемая на малых ГЭС, возвращается в естественный русло.

Есть два фактора, которые определяют количество производимой мощности: напор (т.е. высота капли воды) и скорость потока; чем выше напор, тем меньшая скорость потока необходима для производства того же количества электроэнергии. Общая производственная мощность зависит от сезонных и годовых различий в доступности воды. В зависимости от высоты напора и величины потока могут использоваться разные типы турбин (см. таблицу).

В импульсных турбинах рабочее колесо (вращающаяся часть турбины) работает на воздухе, и весь процесс происходит при атмосферном давлении. Турбины такого типа более устойчивы к частицам в воде, доступ к рабочим частям легче по сравнению с реактивными турбинами, в них нет частей, работающих под давлением, и они имеют более высокий КПД части потока [1,3]. Тем не менее, эти турбины не могут использоваться на всех объектах, поскольку они требуют высокого напора, в отличие от турбин с перекрестным потоком, которые способны работать с напором примерно до 4 м. Турбины с поперечным потоком представляют собой тип импульсной турбины, которая имеет ряд преимуществ: их можно использовать для широкого диапазона высот напора и классов мощности, а также их можно очень легко производить, например, разрезая длинные трубы на полосы.

Осуществимость технологии

Требования к окружающей среде. Высота напора и доступный расход воды определяют количество энергии, которая может быть произведена. При планировании гидроэлектростанции необходимо обратить внимание на сезонные и годовые различия в доступности воды. В частности, для речных

электростанций расход воды должен быть выше определенного минимума круглый год, чтобы иметь возможность производить электроэнергию круглый год.

Требования к инженерии и инфраструктуре. Микро- и мини-ГЭС лучше всего подходят для изолированных территорий, где нет электросети. Электростанции, работающие вне сети, требуют местного управления нагрузкой для стабилизации частоты и напряжения питания. Их преимущество состоит в том, что они обычно предназначены для отдельных домохозяйств или небольших деревень и могут быть разработаны с использованием местных материалов и рабочей силы.

Общий напор – это расстояние по вертикали между верхней частью затвора, по которому подается вода под давлением, и точкой, где вода сливается из турбины. Чистый напор равен полному напору за вычетом потерь из-за трения и турбулентности в трубопроводе [2]. На рисунке 1 представлена структурная схема плотинно-деривационная малая ГЭС. Количество падающей воды называется потоком. Он измеряется в галлонах в минуту, кубических футах в секунду или литрах в секунду. Производительность гидроэлектростанции зависит от количества и давления воды, протекающей через турбины. Прямое давление создается за счет направленного движения потока воды. Это может быть вода, скапливающаяся у плотины при строительстве плотины в определенном месте реки, или давление, создаваемое отводом потока – то есть вода выбрасывается через специальный тоннель или канал, отведенный в русло реки. Таким образом, гидроэлектростанции могут быть плотинными, деривационными и плотинно-деривационными [4]. На рис. 2 представлена структурная схема плотинно-деривационная малая ГЭС.

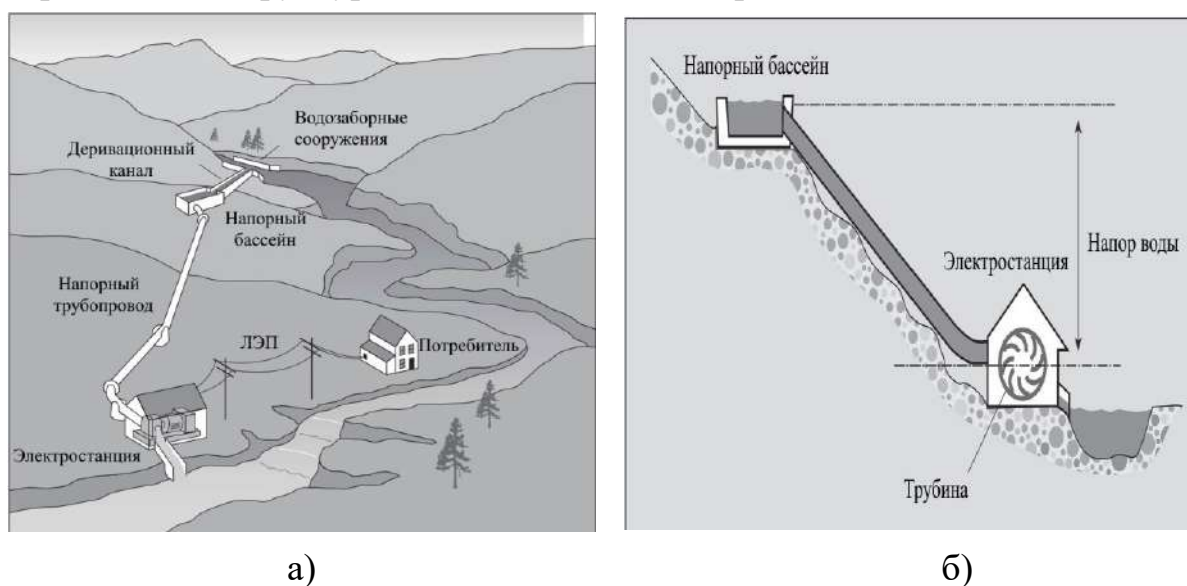


Рис. 1. Структурная схема плотинно-деривационной малой ГЭС.

а) вид с верху, б) разрезный вид с боку

Развития малой гидроэнергетики Таджикистана

В последние годы в Таджикистане достаточно успешно развивается малая гидроэнергетика. Сегодня в республике построено 287 малых ГЭС. Если сравнить эту цифру с общим объемом производства электроэнергии в стране в 2022 году, составляющим 21,4 миллиарда киловатт-часов, то можно увидеть, что 98% этого объема будет вырабатываться крупными гидроэлектростанциями. Для того чтобы малые ГЭС могли решить важнейшую задачу страны по удвоению производства электроэнергии, необходимо построить около 140 тыс. малых ГЭС. На каждые 50 жителей Таджикистана приходится одна электростанция [5,6]. Количество построенных малых ГЭС Таджикистана по годам приведена на рис. 2.

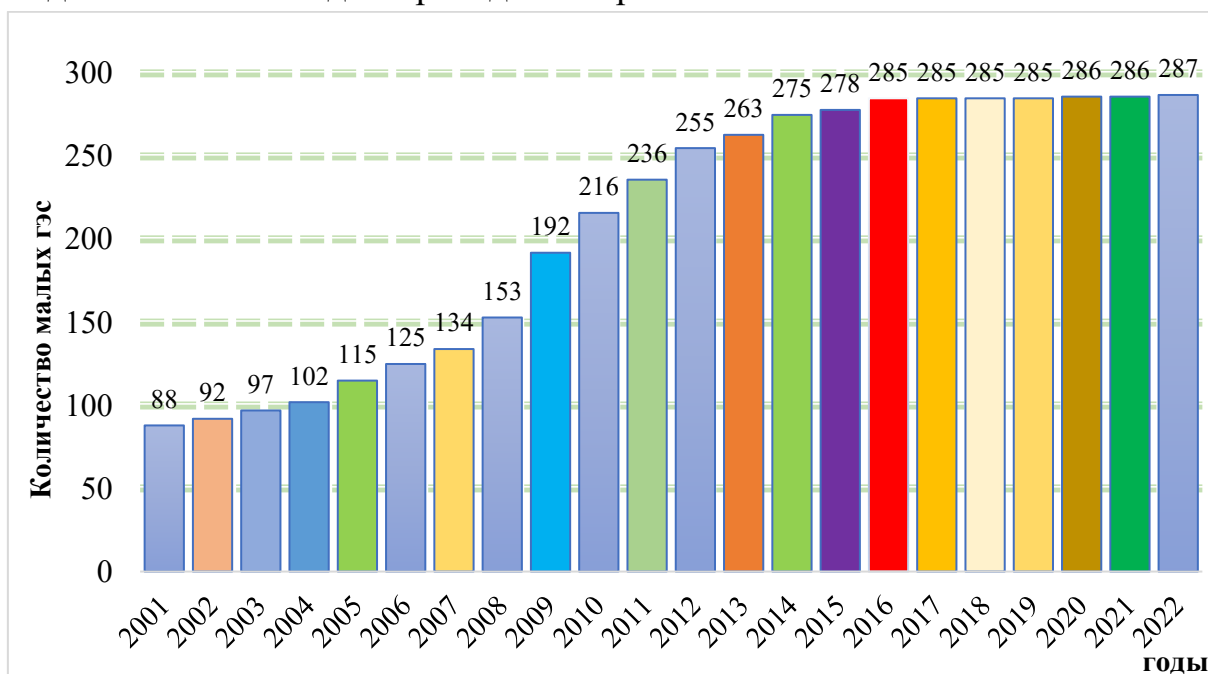


Рис. 2. Темп развития малой ГЭС в Таджикистане

Классификация малых ГЭС Таджикистана и зарубежом

Широкое развитие малой гидроэнергетики может стать важным фактором использования имеющихся энергетических резервов и вытеснения из сферы обращения органического топлива. Имеющийся мировой опыт использования гидроэнергетических ресурсов малых рек показал их высокую эффективность, что позволяет по-новому взглянуть на существующие возможности, проблемы и перспективы малого гидроэнергетического строительства, как наиболее конкурентоспособного по сравнению с другими энергоисточниками.

Разумное дополнение крупномасштабного гидроэнергетического строительства малых ГЭС позволит снизить зависимость Таджикистане от

импортных поставок органического топлива и обеспечит энергетическую независимость республики.

Классификация малых ГЭС может быть разработана по многим признакам, в том числе по способу создания напора, схеме основных сооружений, конструкции здания ГЭС, мощности, напору, размерам рабочего колеса турбины и т.д. В разных странах граничное значение между мощностью малой ГЭС и мощностью классической ГЭС – разное.

И возможный диапазон колебания граничной мощности достаточно широк. В отечественной практике проектирования гидростанция считается малой при мощности 30000 кВт и меньше. Классификация малых ГЭС по мощности в Таджикистане отличается от других стран и выглядит следующим образом [7]:

1. 0 до 100 кВт – микро ГЭС;
2. 100 до 500 кВт – мини ГЭС;
3. 500 до 10000 кВт – собственно малые ГЭС;
4. 10000 кВт и выше – большой ГЭС.

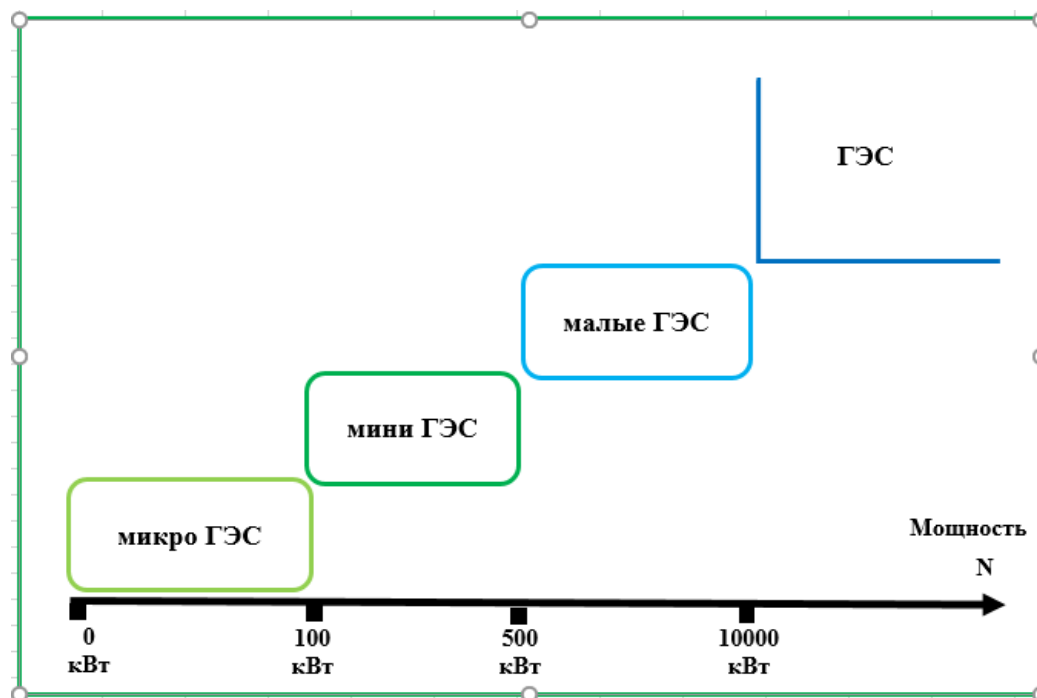


Рисунок 3. Классификация малых ГЭС по мощности в Таджикистане

Технология малой гидроэнергетики может способствовать социально-экономическому развитию и защите окружающей среды

Замена традиционных видов топлива переходом на электричество может снизить загрязнение воздуха, улучшить здоровье и снизить социальное бремя, например, связанное со сбором дров. Электричество можно использовать для увеличения доходоприносящей деятельности, в частности, оно может улучшить

орошение, переработку сельскохозяйственных культур и производство продуктов питания. Деятельность, приносящая доход, может обеспечить больше рабочих мест для сельских общин.

Малая гидроэнергетика, будучи возобновляемым источником энергии, также имеет то преимущество, что снижает зависимость от ископаемого топлива на макроэкономическом уровне, если страна импортирует ископаемое топливо.

В зависимости от того, какие формы использования энергии заменяет гидроэнергетическая система, снижение загрязнения воздуха и выбросов парниковых газов различается, но, учитывая, что малая гидроэнергетика практически нейтральна по CO₂, ожидается, что это будет значительным улучшением по сравнению с традиционным производством электроэнергии с точки зрения выбросы парниковых газов и загрязнителей воздуха.

В отличие от крупных гидроэнергетических установок, экологическое воздействие на экосистемы ограничено. Малые гидроэлектростанции требуют ограниченных изменений в стоке реки, и поэтому существующая экосистема может продолжать функционировать в прежнем режиме; тем не менее, ожидаются улучшения в этой области, в частности, связанные с разработкой «более благоприятных для рыбы» турбин [8].

Гидроэлектростанция работает практически без выбросов CO₂. Основным источником выбросов является производство компонентов и транспортировка к месту расположения электростанции.

Финансовые потребности и затраты на малую гидроэнергетику

Проекты малых гидроэлектростанций, как и более крупные электростанции, имеют широкий диапазон приведенной стоимости электроэнергии из-за ее чувствительности к коэффициенту мощности станции и стоимости капитала. Диапазон может составлять от минимума 35 долларов до 230 долларов за МВтч и, возможно, превышать их [9].

Учитывая, что некоторые электростанции требуют довольно больших первоначальных инвестиционных затрат, важно проверить, останется ли гидрология в регионе постоянной с течением времени.

Требования к капиталу для малых ГЭС зависят от эффективного напора, расхода, геологических и географических особенностей, оборудования (турбин, генераторов и т.д.) и необходимых инженерно-строительных работ. Использование существующих конструкций, таких как плотины, плотины, водохранилища или пруды, может значительно снизить воздействие на окружающую среду и затраты. В целом, участки с низким напором и высоким расходом требуют больших капитальных затрат, поскольку для обработки

большого потока воды требуются более масштабные строительные работы и турбинное оборудование. Однако если система может иметь двойное назначение, например, выработку электроэнергии и борьбу с наводнениями, выработку электроэнергии и ирригацию или выработку электроэнергии и питьевую воду, период окупаемости может быть сокращен.

Заключение

Наряду с другими видами возобновляемых источников энергии малая гидроэнергетика также считается экологически чистым видом зеленой энергетики и ее развитие может способствовать социально-экономическому развитию и защите окружающей среды. Малая гидроэнергетика включает гидроэлектростанции мощностью до 10 МВт. В работе подробно анализируется классификация малых ГЭС по мощности. Для Таджикистана малыми ГЭС считаются до 10 МВт, для Китая это значение превышено до 25 МВт и для Индии до 15 МВт.

В этой статье также рассматриваются капитальные затраты малых ГЭС, которые варьируются от 35 до 230 долларов США за МВтч. В этой работе также отражено состояние развития малой гидроэнергетики в Таджикистане и, по оценкам местных экспертов, по состоянию на 2022 год в республике построено 287 малых ГЭС различной мощности.

Литература

1. Nachman-Hunt, N. Small Hydropower Systems: Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse, book, July 5, 2001; Golden, Colorado. (<https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc715482/>; accessed November 16, 2023), University of North Texas Libraries, UNT Digital Library, <https://digital.library.unt.edu>; crediting UNT Libraries Government Documents Department.

2. Подключение стран к решениям в области климатических технологий. (Малая гидроэнергетика). Climate Technology Centre & Network [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ctc-n.org/technologies/small-hydropower> (дата обращения 16.11.2023).

3. UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.university-directory.eu/United-Kingdom/UNEP-Risoe-Centre-on-Energy--Climate-and-Sustainable.html> (дата обращения 16.11.2023).

4. Устройство и принцип работы гидроэлектростанции: [Электронный ресурс]. – URL: <https://electricalschool.info/energy/1911-princip-raboty-idrojelektrostancii.html> (дата обращения 29.11.2023).

5. Петров Г. Проблемы развития энергетики таджикистана в современных условиях Центральной Азии // Центральная Азия и Кавказ, 2013, Том 16, Выпуск 4.

6. Таджикистан в 2022 году выработал рекордный объем электроэнергии за годы независимости: [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/16873511> (дата обращения 29.11.2023).

7. Что такое малая ГЭС. Классификация по мощности: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gidroburo.ru/index.php/a-proektirovanie/a-4-malye-ges/38-a-4-01-chto-takoe-malaya-ges-klassifikatsiya-po-moshchnosti> (дата обращения: 10.11.2023).

8. World Energy Outlook 2008: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2008i> (дата обращения: 10.11.2023).

9. IRENA – International Renewable Energy Agency: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydropower> (дата обращения: 10.11.2023).

Сведения об авторах:

Махсумов Илхом Бурхонович – к.т.н., старший преподаватель, заведующий кафедрой альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 909-22-24-24, E-mail: messi.neymar.suarres@bk.ru

Давлатзода Абуфазл Нусратулло – начальник центра регистрации, консультирования и тестирования Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992)977-287-15-15, davlatzoda.88@mail.ru

Раупов Насим Махмадшарипович – старший преподаватель кафедры альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 909-01-77-00, E-mail: nasim.8484@list.ru

УПРАВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Марченко А.И., Мурашкина И.С., Одинабеков М.З.
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический
университет», г. Новосибирск, Россия
E-mail: amarchenko91@yandex.ru

***Аннотация.** В настоящее время одной из определяющих тенденций развития электроэнергетики является увеличение количества объектов малой распределенной генерации, стремление к созданию на их базе локальных систем электроснабжения (MiniGrid) и присоединение их с включением на параллельную работу к электрическим сетям энергосистемы. Это связано с тем, что островная или изолированная работа таких объектов, как правило, не соответствует требованиям по надежности, качеству электроснабжения потребителей и экономичности выработки энергии. Для решения данной задачи необходима разработка и последующее использование специализированной интеллектуальной системной автоматики управления режимами MiniGrid, которая позволила бы упростить и существенно снизить затраты на интеграцию объектов с синхронной малой генерацией в существующие электрические сети. Представлено техническое решение задачи, реализованное в автоматике управления, по устранению рисков и технологических барьеров, возникающих в результате прямого подключения сбалансированных локальных энергосистем на основе малой генерации к централизованным электрическим сетям с созданием на их основе локальных интеллектуальных энергосистем.*

***Ключевые слова:** MiniGrid, автоматика, малая генерация, электрическая сеть, управление.*

CONTROL OF LOCAL POWER SUPPLY SYSTEMS IN DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS WITH LOW-POWER GENERATION

***Abstract.** Currently the one of the trend setting the development of the electric power industry is an increase in the number of low-power distributed generation facilities, the desire to create local power supply systems (MiniGrid) based on this facilities and connect it with parallel operation to the large power system. As a rule, this is due to the fact that the island or isolated operation of such facilities does not meet the requirements for reliability, quality of power supply to consumers and*

efficiency of energy generation. To solve this concern, it is necessary to develop and subsequently use specialized intelligent system automation for MiniGrid mode controlling, which would simplify and significantly reduce the cost of facility integration with synchronous low-power generation into existing electrical networks. A technical solution this concern, implemented in control automation, for eliminating risks and technological barriers arising as a result of direct connection of balanced local power systems based on low-power generation to centralized power grids with the creation of local intelligent power systems is presented.

Keywords: *MiniGrid, automation, low-power generation, electrical network, control.*

В современных быстро трансформирующихся под влиянием расширяющегося использования инновационных технологий электроэнергетических системах (ЭЭС) все более существенную роль играет распределенная генерация электроэнергии [1-2]. Помимо использования малых агрегатов распределенной генерации на базе источников возобновляемой энергии, для российских суровых климатических условий важное значение имеют малые когенерационные установки (мини-ТЭЦ), работающие на органических видах топлива – газотурбинные, парогазовые, газопоршневые, паротурбинные. Эти технологии имеют существенную потенциальную нишу для городов и поселений городского типа при условии замены старых неэкономичных котельных на мини-ТЭЦ. Кроме того, в нынешних условиях активная потребность в генерирующих установках малой мощности имеет место на многих промышленных предприятиях, которые массово закупают малые агрегаты распределенной генерации, особенно газопоршневые. Естественным способом использования таких малых генерирующих установок была бы совместная их работа с внешней ЭЭС.

1. Проблемы технического присоединения установок распределенной генерации к внешней электрической сети

Помимо плюсов, которые есть при параллельной работе локальной системы электроснабжения (MiniGrid) в составе общей электрической сети мощной ЭЭС, остаются риски и барьеры технического характера. Это, прежде всего, плохая электромеханическая совместимость данных систем, инерционность энергоблоков большой энергетики и генераторов малой электростанции в значительной степени отличается. Вследствие чего и возникают при обычном включении MiniGrid с малой генерации в мощную ЭЭС большой централизованной энергетики опасные асинхронные режимы и в данных условиях не обеспечивается динамическая устойчивость параллельной

работы данных систем, что приводит к выходу из строя установок малой генерации со своими синхронными генераторами, возникают динамические моменты на валах машин в момент проходящего короткого замыкания (КЗ) или после отключения КЗ существующими релейными защитами сети. При подключении данных локальных систем электроснабжения с малой генерацией происходит увеличение токов КЗ, причем на подстанции присоединения системы к сети ЭЭС не сильно значительно, а в самой MiniGrid многократно, порядка 4-ех кратных значений. Требуется настройка согласованности работы релейной защиты основной сети, что очень затратно и труднообеспечимо. Следует, что в совокупности все указанные особенности на пути осуществления присоединения на параллельную работу MiniGrid с малой генерацией с внешней сетью ЭЭС являются технологическими барьерами для взаимной интеграции. Разработка мер по решению указанных проблем является важной задачей.

2. Автоматика опережающего сбалансированного деления

В отличие от известных способов присоединения к электрической сети объектов малой распределенной генерации [3-5] предлагается новое техническое решение, связанное с присоединением к электрической сети локальных систем электроснабжения (MiniGrid) и их объединением с региональными энергосистемами.

Научным коллективом кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) под руководством д.т.н., профессора Фишова А.Г., с участием авторов статьи [6], разработан опытный образец программно-технического комплекса сетей Minigrid (ПТК Minigrid), обеспечивающий управление нормальными и аварийными режимами работы распределённой генерации, сетей и энергопринимающих устройств, объединённых системой поддержания баланса выработки и потребления электроэнергии Minigrid (Рис. 1).

Существующие и создаваемые промышленные, коммерческие и коммунальные MiniGrid на базе малой генерации установленной мощностью энергоблоков до 25 МВт и распределительной сети 0,4 – 10 кВ интегрируются в централизованную энергосистему с использованием автоматики.

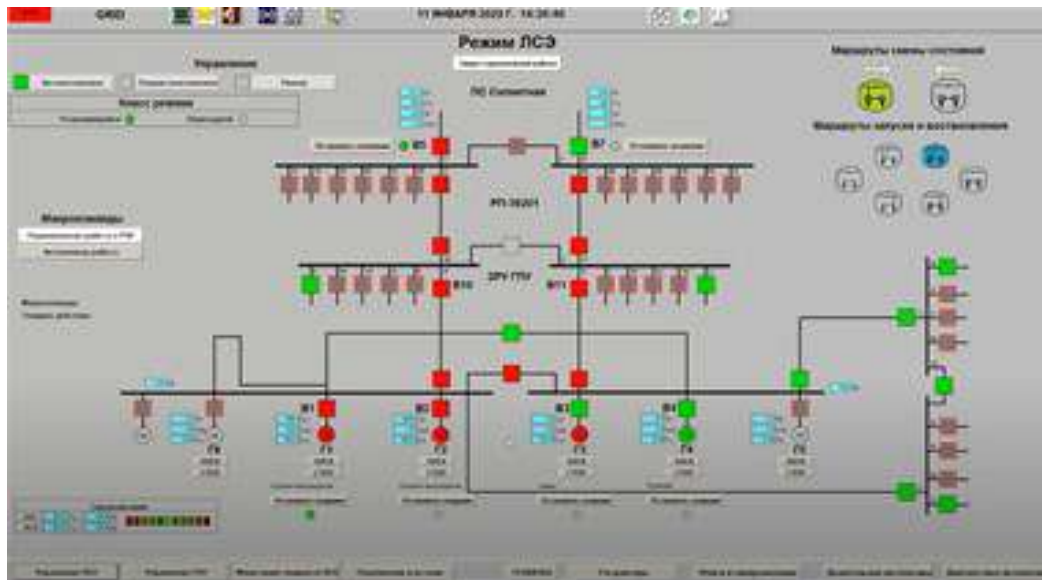


Рис. 1. Стойка управления и фрагмент интерфейса ПТК Minigrid

Посредством автоматики по назначенным сечениям осуществляется сбалансированное отделение Minigrid при технологических нарушениях во внешней сети и последующее восстановление её синхронной параллельной с электрической сетью.

Срабатывание пускового органа подсистемы противоаварийного управления Minigrid происходит за время менее 20 мс и определяется уставками по напряжению прямой и обратной последовательностей напряжения в контрольном узле сети (например, на шинах распределительного пункта с выключателями, используемыми для деления).

Используя информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации о производстве и потреблении электроэнергии, созданный ПТК посредством интеллектуальной системы управления обеспечивает работу Minigrid на базе малой генерации, как автономно, так и параллельно с ЕЭС.

ПТК Minigrid позволяет в автоматическом режиме повышать надёжность и технико-экономическую эффективность производства и распределения электроэнергии. Автоматикой осуществляется автоматическое управление Minigrid по активной и реактивной мощности в нормальных и аварийных режимах с выбором состава работающего оборудования и вариантов работы – автономным или параллельным с внешней электрической сетью.

На текущий момент ПТК Minigrid является новым и единственным способом, решающим задачу подключения локальных систем электроснабжения с малой генерацией к электрической сети, обеспечивающим согласованность работы режимной и противоаварийной автоматики, что представляется автоматикой нового типа. Моделирование физических процессов, испытание подсистем автоматики проводились на базе электродинамической модели (ЭДМ) Центра испытаний устройств контроля и управления режимами электроэнергетических систем НГТУ. Результаты многочисленных испытаний подтвердили работоспособность и эффективность реализованных в подсистемах автоматики функций.

Заключение

Разработана идея управления режимом параллельной работы Minigrid с внешней электрической сетью мощной электроэнергетической системы, позволяющая осуществлять безопасную работу малой генерации Minigrid и электрической сети электроэнергетической системы, а также использовать новые технические системные эффекты. Обеспечить безопасную работу малой генерации в электрической сети внешней электроэнергетической системы при децентрализованном автоматическом режимном и противоаварийном управлении Minigrid возможно только специальной системной автоматикой, использующей способ опережающего сбалансированного деления. Новизна исследований и полученных результатов определяется еще и тем, что эти результаты протестированы численными исследованиями с использованием программных средств и на физической модели ЭЭС, а также реализованы в виде прототипа реального устройства управления.

Работа выполнена при поддержке Новосибирского государственного технического университета (проект С23-18).

Список литературы

- 1) N. Voropai, Electric Power System Transformations: A Review of Main Prospects and Challenges, *Energie*, 13, no. 21, 5639 (2020)
- 2) C. Marnay, C. Abbey, G. Joos, Microgrids 1: Engineering, economics, and experience—Capabilities, benefits, business opportunities and examples—Microgrids evolution roadmap. *Electra*, 283, 71–75 (2015)
- 3) Microgrids: Architectures and Control; Hatziargiriou, N. (Ed.) IEEE Press-Wiley: New York, NY, USA (2014)
- 4) A.L. Kulikov, M.V. Sharygin, P.V. Ilyushin, Principles of organization of relay protection in microgrids with distributed power generation sources, *Power Technology and Engineering*, 53, no. 5, 611–617 (2020)
- 5) А. И. Марченко, В. В. Денисов, И. С. Мурашкина, Средства и способы управления параллельной работой электрической станции малой генерации с электрической сетью, *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*, № 1 (74), 77–90 (2019)
- 6) Патент на изобретение 2662728 РФ. Способ противоаварийного управления режимом параллельной работы синхронных генераторов в электрических сетях, Марченко А.И., Мукатов Б.Б., Фишов А.Г., *Бюллетень Изобретений* № 22 (2016)

Сведения об авторах

Марченко А.И. – старший преподаватель кафедры автоматизированных электроэнергетических систем, Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск

Мурашкина И.С. – ассистент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем, Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск

Одинабеков М.З. – аспирант кафедры автоматизированных электроэнергетических систем, Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ГБАО РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

*Шарипов Ф.К., Сайфуллоева О.М., Сабуров Ш.М.
Научный руководитель Диёрзода Р.Х.,
Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

21 декабря 2021 года Основатель мира и национального единства — Лидер нации, Президент Республики Таджикистан, уважаемый Эмомали Рахмон обратился с ежегодным посланием к народу Республики Таджикистан и парламенту страны. Лидер нации выразил уверенность, что в течении 7 бедующих лет энергетическая мощьность страны будет доведена до 10 тыс. мегаватт, и будет достигнута полная энергетическая независимость, что является одной из стратегических целей государства. Также Лидер нации подчеркнул, что с учётом глобального изменения климата Правительству страны необходимо до конца 2022 года принять стратегию развития «зеленой экономики» в Республике Таджикистан и обеспечить ее реализацию [7].

Развитие «зеленой энергетики» позволит республике достижения поставленной цели Лидером нации, а также расширения использования возобновляемых источников энергии в республике и увеличения рабочих мест. На сегодняшний день правительство реализует проекты по развитию нетрадиционных источников энергии в регионах страны [8].

Данная статья посвящена одной из направлений «зеленая энергетика» - определение ветроэнергетического потенциала ГБАО РТ, для увеличения энергетической мощьности страны, за счет применения ветроэнергетических установок.

ГБАО имеет очень большой гидроэнергетический потенциал, но из-за суровых климатических условий, особенно в зимний период, когда окружающая температура снижается до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, что приводит к замерзанию гидроресурсов и снижению выработки электроэнергии.

ГБАО состоит из 485 населённых пунктов, разбросанных на разных высотах в горах из которой 1 город, 7 районов и 43 сельских джамоатов: город Хорог, Дарвазский район, Ванчский район, Рушанский район, Шугнанский район, Рошткалинский район, Ишкашимский район, Мургабский район [10].

ГБАО является самым горным районом республики, территория которой 97,5 % составляют горные районы, расположенные на высоте более 1400 м, половина из которых находится на высоте более 3000 м.

Компания «Памир Энерджи», которая стабильно обеспечивала ГБАО электроэнергией, зимой на 2020 - 2021 год из-за сильных морозов и замерзания

малых речушек, что привело к снижению водостока воды в крупных реках ГБАО и введения веерного отключения электроэнергии [9, 11]. Данная ситуация подталкивает на определения потенциала ВИЭ в нашем случае ветроэнергетического потенциала в ГБАО.

В этой статье проанализированы данные 23 населенных пунктов Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан за последние 12 лет которые приведены в таблице 1. Для четырех населенных пунктов приведены графики изменения скорости ветра за двенадцать лет (н.п. Хорог, н.п. Ишкашим, н.п. Мургаб, н.п. Шугнан (рисунки 1-4)) [1].



Рис. 1. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Мургаб.



Рис. 2. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Иикашим.

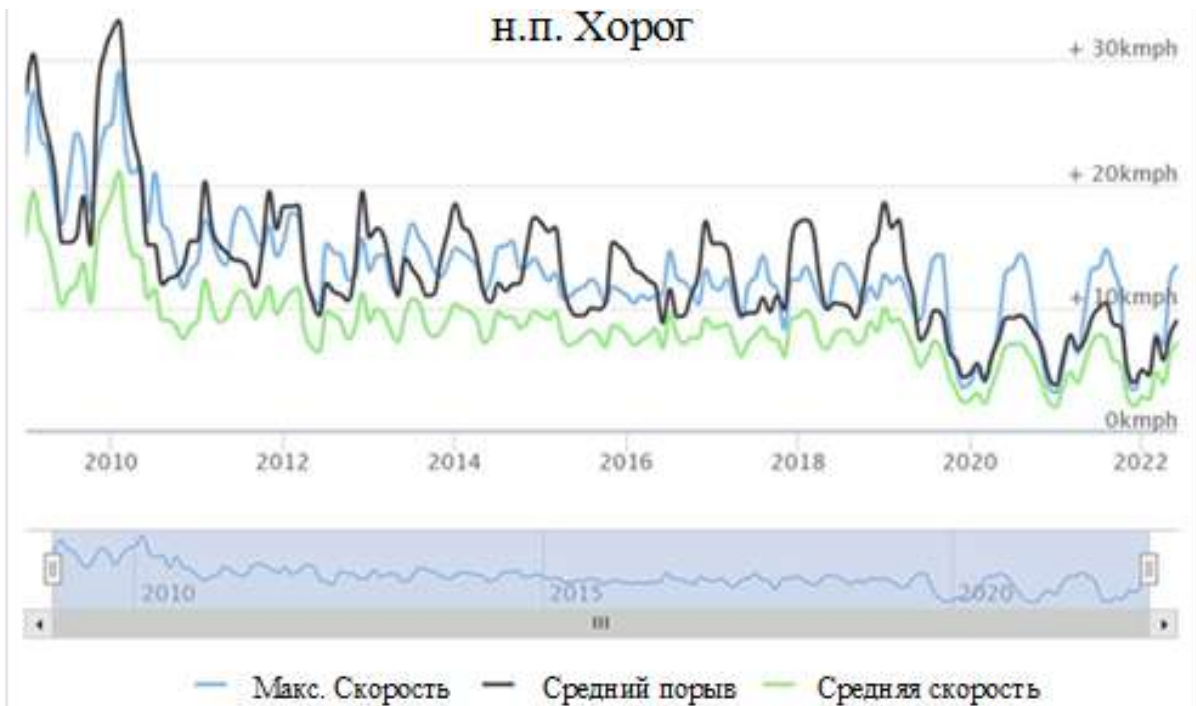


Рис. 3. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в г. Хорог.



Рис. 4. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Шугнан.

На рисунках 1-4 приведены графики трех цветов - зелёный, голубой и черный.

Черным цветом показаны порывы ветра, голубым цветом - максимальная скорость ветра и зеленым цветом - средняя скорость ветра.

Рассмотрим приведенные графики скоростей ветра за один год населенного пункта Ишкашим. По приведенным графикам на рисунке 5 можно охарактеризовать всю Горно-Бадахшанскую автономную область.

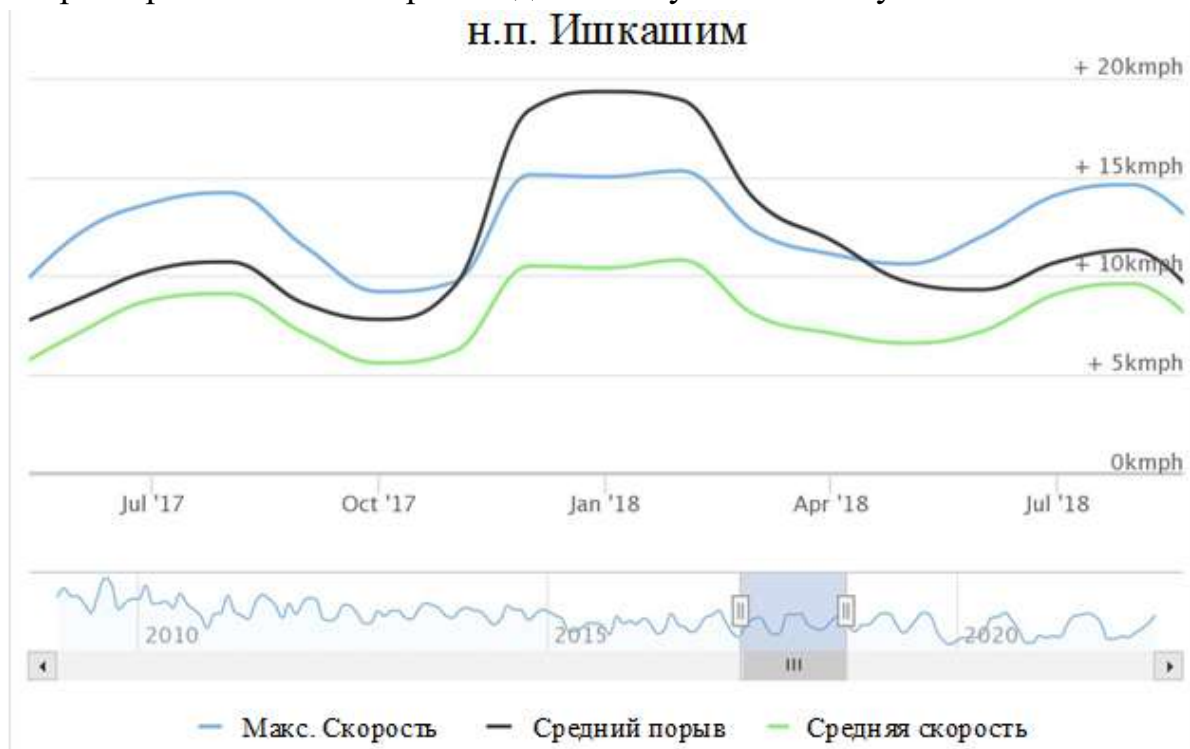


Рис. 5. График изменения скорости ветра за год в н.п. Ишкашим.

Как видно из рисунка 5 скорость ветра в данном регионе не постоянная и изменяется в течении года. Рассмотрим график, выделенный зеленым цветом. Как видно из графика приведенного для н.п. Ишкашим, средняя скорость ветра достигает своей максимальной точки, в зимний период которая составляет около 3,05 м/с и минимальное значение скорости в осенний и весенний период которая составляет около 1,44 м/с. Произведя анализ рисунка 5 можно сделать следующий вывод, что в зимний период когда в отдаленных районах увеличивается потребность электроэнергии и ее можно полностью или частично обеспечить за счет ветроэнергетических ресурсов, как из графика зимний период в ГБАО скорость ветра увеличивается почти в два раза относительно минимальной скорости.

Таблица 1. Средняя скорость ветра в населенных пунктах ГБАО.

№	Название населенного пункта	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя макс. скорость ветра, м/с
1.	Ишкашим	2,63	3,93

2.	Мургаб	2,7	4,89
3.	Раманит	2,6	4,3
4.	Рангкул	2,9	5,03
5.	Равмед	2,32	3,46
6.	Разак	2,67	3,88
7.	Разуч	2,29	3,44
8.	Рог	2,29	3,35
9.	Рохарв	2,32	3,5
10.	Рошорв	2,66	3,92
11.	Рошткала	2,46	3,72
12.	Рованд	3,36	4,3
13.	Равив	2,3	3,45
14.	Рубот	2,46	3,77
15.	Рухч	2,66	3,93
16.	Рушан	2,3	3,47
17.	Рузвай	2,32	3,49
18.	Садвадг	2,3	3,29
19.	Сафедорон	2,13	3,5
20.	Сагирдашт	2,14	3,49
21.	Хорог	2,4	3,83
22.	Шугнанский район	2,4	3,73
23.	Вандж	2,3	3,26

Как видно из приведенных графиков и таблицы 1 для десяти ГБАО Республики Таджикистан, средняя скорость по ГБАО составляет 2,47 м/с, а средняя максимильная скрость по ГБАО состоавляет 3,78 м/с. По ГБАО можно выделить населенные пункты с более благоприятными скоростями ветра: н.п. Мургаб средняя скорость ветра составила 2,7 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 4,89 м/с; н.п. Рангкул средняя скорость ветра составила 2,9 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 5,03 м/с; н.п. Рованд средняя скорость ветра составила 3,36 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 4,3 м/с; н.п. Ишкашим средняя скорость ветра составила 2,63 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 3,93 м/с.

Основным параметром региона для получения потенциальной энергии является скорость ветра.

Проанализировав таблицу 1, ГБАО разобьем условно на части, по среднегодовой скорости ветра:

– менее 2 м/с, в ГБАО небыли выявлены; 268

- от 2 до 5 м/с, относятся районы все районы ГБАО;
- более 5 м/с в ГБАО небыли выявлены.

Из таблицы 1 видно, что даже среднее максимальная скорость ветра не превышает 5 м/с.

Теперь, можно с уверенностью рекомендовать, ветроэнергетические установки по рабочей скорости ветра [2,3,4,5].

При этом нужно уточнить, что скорость ветра распределена неравномерно по всей территории ГБАО Республики Таджикистан, из-за её горно-равнинных участков и времени года. Из проведенного анализа скоростей ветра для ГБАО чаще всего скорость ветра изменяется от 2 м/с до 4 м/с. Из полученных результатов анализа, следует выбрать и рекомендовать ВЭУ, подходящую для данного региона.

Наиболее распространённые ВЭУ – лопастные агрегаты с горизонтальным расположением оси и в зависимости от скорости ветра разделяются на двух, трех и многолопастные турбины рисунок 6.

ВЭУ с тремя лопастями и горизонтальным расположением оси, которые наиболее распространены в мире (рисунок 6 б), при выработке номинальной мощности имеют рабочую скорость ветра в диапазоне от 8 до 15 м/с, при этом стартовая скорость ветра составляет 2,5-4 м/с. Отсюда появляется вывод, что данный тип ветротурбин не подходит для рассматриваемых регионов из-за большой рабочей скорости [2,3,4,5].

Наиболее благоприятными характеристиками обладают многолопастные ветротурбины (рисунок 6 в). Минимальная скорость ветра данных турбин составляет 0,5-1,5 м/с, номинальную мощность можно получить при скорости ветра 3-4 м/с [6, 12, 13, 14,15].

Данные ветротурбины способны преобразовать в полезную работу очень слабые потоки воздуха. При усилении ветра они теряют преимущество, а на сильных ветрах проигрывают трехлопастным (рисунок 6 б). Потери на трение растут вместе со скоростью.

По многолопастным ветроэнергетическим установкам опыта, эксплуатации маленький, но расчетные показатели и тот опыт, что есть говорят о более высокой эффективности.

В рассмотренных регионах применение трехлопастных ветротурбин невозможно, т.к. рабочая скорость ветра составляет от 8 до 15 м/с. Наиболее подходящие ветротурбины – это многолопастные. Минимальная скорость ветра данных турбин составляет 0,5-1,5 м/с, а номинальную мощность можно получить при скорости ветра 3-4 м/с. Многолопастные ветротурбины способны преобразовать очень слабые потоки ветра в полезную работу.



а)

б)

в)

Рисунок 6. Основные ветроэнергетические установки

Выводы

Проведя двенадцатилетний обзор и анализ ГБАО, были получены следующие результаты, средняя скорость по всем рассмотренным районам составила 2,47 м/с, а средняя максимальная скорость составляет 3,78 м/с. По ГБАО можно выделить населенные пункты с более благоприятными скоростями ветра н.п. Мургаб, н.п. Рангул, н.п. Рованд, н.п. Ишкашим.

Из полученных результатов видно, что максимальное значение скорости ветра в регионе совпадает с сезонным максимальным пиком потребления электрической энергии, потенциальную энергию ветра можно использовать при нехватке выработки энергии на гидроэлектростанциях в зимний период.

Литература

1. <https://www.worldweatheronline.com>.
2. <http://vetronet.com>.
3. Кувшинов В.В., Морозова Н.В., Софийский И.Ю. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии. Учебное пособие. – Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности: «Спутник», 2018. — 276 с.

4. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П., Секторов В.Р. Ветроэлектрические станции. Москва-Ленинград, Государственное энергетическое издательство, 1960. – 320 с.

5. Mario Alejandro Rosato. Small Wind Turbines for Electricity and Irrigation Design and Construction. 2019 by Taylor & Francis Group, LLC.

6. Почанин Ю.С. «Монтаж и сервис оборудования по использованию возобновляемых источников энергии. Том 3. Монтаж и сервис ветроустановок» 2020. – 230 с.

7. www.prezident.tj

8. www.aarhus.tj

9. <https://longreads.cabar.asia/greentechnologies>

10. <https://ru.wikipedia.org>

11. Джураев Д.Э. Использование альтернативных источников питания в высокогорных населенных пунктах Республики Таджикистан. Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» № 3 (24) Т.3. Март 2020. С.70-74.

12. Диёров Р.Х. Ветроэнергетический потенциал юго-западной части Республики Таджикистан. /Диёров Р.Х.// КИШОВАРЗ. Теоретический и научно-практический журнал. №1 – 2022. С. 77-83.

13. Диёров Р.Х. Ветроэнергетический потенциал Хатлонской области Республики Таджикистан. /Диёров Р.Х., Сайфуллоева О.М., Шарипов Ф.К.// Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №1 (57) – 2022, С. 12-18.

14. Диёров Р.Х. Ветроэнергетический потенциал районов республиканского подчинения Республики Таджикистан. /Диёров Р.Х.// Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №2 (58) – 2022, С. 11-17.

15. Ф.М. Рахимов. Влияние соотношения сторон турбины вертикально-осевой ветроэнергетической установки на его производительность. / Ф.М. Рахимов// Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №2 (58) – 2022, С. 22-31.

Сведение об авторах

Диёров (Диёрзода) Рустам Хакималиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины», ТТУ имени акад. М.С. Осими, E- mail: diyorzoda@gmail.com

Шарипов Фаридун Куваталиевич – докторант PhD кафедры «Электрические станции», ТТУ имени акад. М.С. Осими,

Сайфуллоева Олуфтами Мируллоевна – ассистент кафедры «Экономика и управление на производстве», ТТУ имени акад. М.С. Осими,

Сабуров Шерали Мустафоевич – магистрант кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины», Таджикского технического университета имени акад. М.С. Осими

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Манусов В.З.¹, Ахъёев Дж.С.², Назаров М.Х.¹, Бобозода Ш.А.².

¹ Новосибирский государственный технический университет, Россия, 630073,
г. Новосибирск, прос. К. Маркса, 20

² Таджикский технический университет имени М. Осими, Таджикистан,
734042, Душанбе, ул. Академиков Раджабовых, 10.

E-mail: manusov36@mail.ru, javad_66@mail.ru, musso-6556@mail.ru

Аннотация: Энергосистема Памира в зимний период имеет дефицит электрической энергии. Так как этот регион богат возобновляемыми источниками энергии, для покрытия дефицита мощности прилагается установить ветроэлектростанции. В работе рассматривается обоснование выбора модели ветроэнергетического оборудования для данной изолированной энергетической системы.

Ключевые слова: ветроэлектростанция, возобновляемые источники энергии, скорость ветра, удельная стоимость.

RATIONALE FOR THE CHOICE OF WIND ENERGY EQUIPMENT FOR ISOLATED ELECTRICAL SYSTEMS

Annotation: The Pamir energy system has a shortage of electrical energy in winter. Since this region is rich in renewable energy sources, wind power plants are being installed to cover the power shortage. The paper discusses the rationale for choosing a model of wind power equipment for a given isolated energy system.

Keywords: wind power plant, renewable energy sources, wind speed, unit cost.

Анализ мирового рынка ветроэнергетического оборудования

Vestas (Дания). Компания Vestas Wind Systems A/S (Дания), деятельность которой начиналось ещё в 1979 году, является одним из мировых лидеров по производству ветроэнергетического оборудования. По данным на 2020 год, более 12,8% установленной мощности ветроэнергетического оборудования (более 55 000 единиц установок) в мире произвела данная компания. Фирма Vestas специализируется на производстве промышленных ветрогенераторов мощностью от 660 кВт до 8 МВт. Турбины сконструированы на основе проверенных уже в нескольких поколениях разработок, что позволяет гарантировать передовые на данном рынке производительность и лёгкость в обслуживании. Рабочие характеристики гарантируют способность

вырабатывать энергию в условиях низких и средних ветров при минимальных расходах. Кроме того, конструкция турбин обеспечивает надёжность и долговечность эксплуатации, что снижает простои и сохраняет инвестиции.

GE Wind Energy (Германия, США). Компания GE Wind Energy (Германия, США) входит в концерн General Electric, который по итогам 2019 года вошел в тройку компаний – мировых лидеров по совокупности выручки, чистой прибыли, активов (по отчётности за последние 12 месяцев) и рыночной капитализации. На сегодняшний день ветроэнергетического оборудования этой фирмы в мире установлено более 17 000 единиц.

Goldwind (Китай). Китайский поставщик ветряных турбин Goldwind остается вторым по величине в мире. Поскольку Китай продолжает оставаться крупнейшим в мире рынком ветроэнергетики и установщиком ветряных турбин номер один, Goldwind значительно выигрывает от этого растущего спроса, что делает его крупнейшим производителем ветряных турбин в Китае. Goldwind установил общую мощность ветряных турбин на 41 ГВт в более чем 20 крупных странах по всему миру.

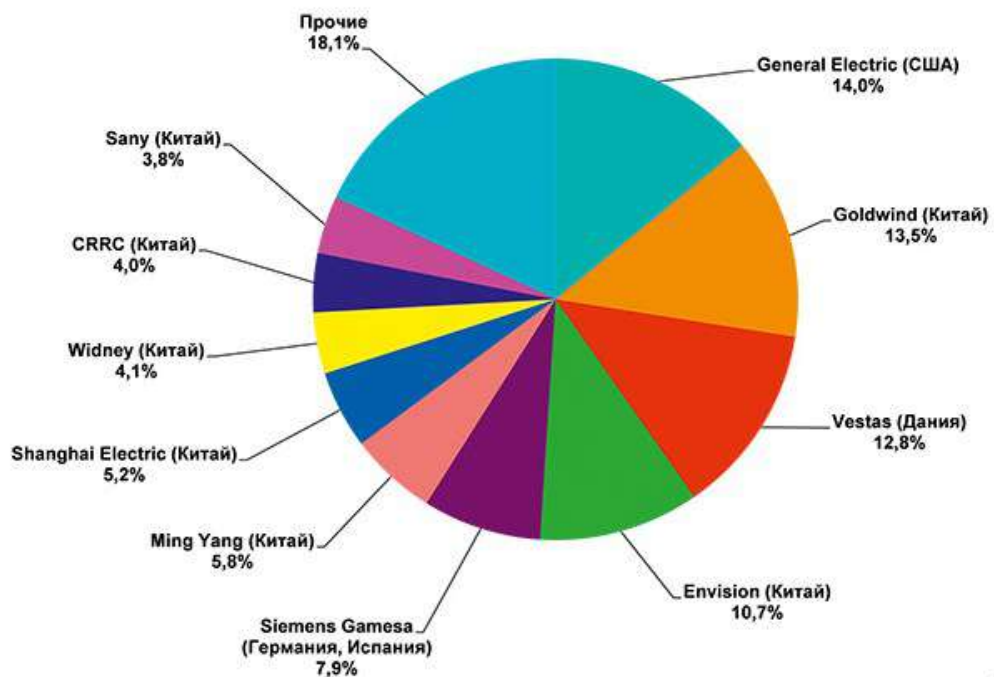


Рис. 1. Доли производителей ветроэлектростанций, установленных в мире

Выбор из предложенных ветрогенераторов осуществим по критерию минимальной удельной стоимости за 1 кВт установленной мощности.

Расчёт осуществляется по ниже приведенной формуле:

$$S_{уд} = \frac{S}{P_{уст}},$$

где S – стоимость ветроустановки, руб.;

$P_{уст}$ – установленная мощность ветрогенератора, кВт.

Рассчитаем удельную стоимость 1 кВт для Vestas V25:

$$S_{уд} = \frac{12999\ 000}{200} = 64\ 985 \text{ руб/кВт}$$

Удельная стоимость 1 кВт для Vestas V47:

$$S_{уд} = \frac{39790\ 000}{660} = 60\ 314 \text{ руб/кВт}$$

Удельная стоимость 1 кВт для Vestas V66:

$$S_{уд} = \frac{82\ 935\ 000}{1650} = 50\ 262 \text{ руб/кВт}$$

Результаты расчетов показаны на рисунке 2.

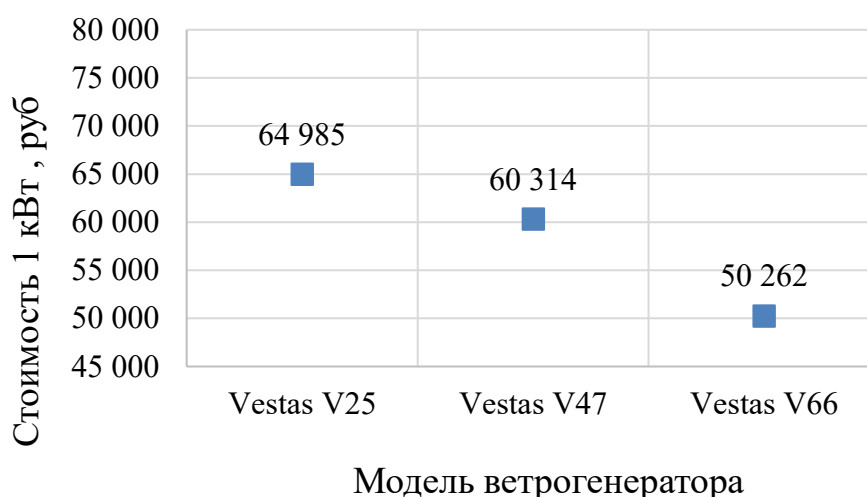


Рис. 2. Выбор модели ветрогенератора

Выводы

На основе обзора мирового рынка производителей ветроустановок обоснован выбор мощности за счет ветроэлектрической станции. В результате расчётов стало понятно, что установка ветрогенератора Vestas V66 является более привлекательным.

Литература

1. Мировая энергетическая статистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
2. Киргизов, Р.З. Юлдашев, Ш. З. Юлдашев, Л.С. Касобов А.К.

Возобновляемые источники энергии как фактор устойчивого развития сельских территорий Республики Таджикистан // Вестник Таджикского технического университета. 2014. № 2 (26). С. 59-61.

3. В. З. Манусов, Дж.С. Ахъеев, Ш.А. Бобоев, М.Х. Назаров. Выбор оптимальных режимов электропотребления изолированной энергосистемы на основе возобновляемых источников энергии // Материалы науч.-практ. конф.-выставки: «Дни возобновляемых источников энергии в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими», Душанбе, 1-2 июня 2021 г. – 2021. – С. 71–83.

Сведения об авторах:

Манусов Вадим Зиновьевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры систем электроснабжения предприятий Новосибирского государственного технического университета. Основное направление: применение интеллектуальных информационных технологий и методов искусственного интеллекта для анализа, планирования и оптимизации электроэнергетических систем. Имеет более 400 публикаций, в том числе 5 монографий. Контакты: тел. (+7) 913-931-76-67, e-mail: manusov36@mail.ru

Ахъёев Джавод Саламшоевич, – к.т.н., доцент кафедры электрические станции Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. Основное направление: мониторинг и диагностика технического состояния электрооборудования электроэнергетических систем на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики. Имеет более 60 публикаций. Контакты: тел. (+992) 98-601-10-00, E-mail: javod_66@mail.ru

Назаров Мусо Холмуродович – к.т.н. Основное направление: исследование и оптимизация режимов автономных электрических систем с возобновляемыми источниками энергии. Имеет более 20 публикаций.

Контакты: тел. (+7) 983-321-12-20, E-mail: musso-6556@mail.ru

Бобозода Шукруллох Абдугафор – соискатель кафедры электрические станции Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, г. Душанбе. Контакты: тел. (+992) 93-700-30-07

РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Пинова Ш.Х., Бобозода Ш.А., Лайлоу И.

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика М.С.

Осими

***Аннотация:** В статье произведен обзор разновидностей самонесущих изолированных проводов, история их развития и применения в электрических сетях.*

***Ключевые слова:** Самонесущие изолированные провода (СИП), электрические сети, электроэнергия, надежность, потребители.*

DEVELOPMENT OF INSULATED WIRE SYSTEMS

***Abstract:** The article reviews the types of self-supporting insulated wires, the history of their development and application in electrical networks.*

***Key words:** Self-supporting insulated wires (SIP), electrical networks, electricity, reliability, consumers.*

Пионерами в области производства и применения самонесущих изолированных проводов (СИП) принято считать Францию и Финляндию - энергетики и проектировщики именно этих стран первыми в Европе занялись разработкой стандартов в области проектирования и правил устройства воздушных линий (ВЛ) с изолированными и защищёнными проводами. Впоследствии и другие страны разрабатывали свои системы воздушной подвески, но, как правило, за основу их принимались уже утверждённые европейские стандарты.

Разработку ВЛ с изолированными проводами в скандинавских странах подтолкнула необходимость уменьшить последствия от повреждений, вызванных суровыми климатическими условиями в данном регионе. Одновременно с этим назрела необходимость более узких трасс электролиний, особенно в условиях плотной городской застройки.

Разработка системы подвесного скрученного кабеля системы АМКА началась в 1958 году в Финляндии как системы воздушных подвесных проводов низкого напряжения. Система представляет собой скрученные вокруг голого несущего нулевого провода фазные изолированные жилы, изоляция которых выполнена из термопластичного полиэтилена. Параллельно были разработаны провода со сшитым полиэтиленом марки АХКА, а также системы АМКА-Т и АХКА-Т – с изолированным несущим тросом для тропических регионов с повышенной влажностью.

В настоящее время системой АМКА оборудовано более 170 тыс.км ВЛ-0,4 кВ в Финляндии (около 80%). Система АМКА применена также более чем в 30 странах таких частей света, как Южная Америка, Африка, Азия, Ближний и Дальний Восток: в Перу – с 1981 года, в Саудовской Аравии – с 1984 года, в Непале – с 1986 года, в горных районах Гималаев – с 1989 года. Применение таких проводов в южных и горных районах не представляло проблемы, т.к. изоляция изолированных воздушных линий стойка к воздействию ультрафиолета и озона.

Потребность в изолированных проводах среднего класса напряжения была реализована разработкой проводов SАХ. Первая прокладка изолированных проводов ВЛ-20 кВ осуществлена в 1976 году, так называемая система ПАС – усиленные алюминиевые провода в пластмассовой изоляции. Позднее, в 1981 году в Финляндии была построена первая линия системы SАХ, где изоляция проводов была выполнена из полиэтилена. В 1984 году в эксплуатацию принята вибростойкая система SАХ, оборудованная также устройствами защиты от электрической дуги. В настоящее время система SАХ подразумевает и включает в себя защищённые провода с изоляцией из силаносшиваемого полиэтилена, оборудованные соответствующей линейно-сцепной арматурой, устройствами грозозащиты, виброзащиты и монтажные принадлежности, относящиеся к ним.

Конструктивное исполнение СИП-1 (АМКА)

Первая система, наиболее известная как АМКА (производитель «PIRELLI CABLES and SYSTEMS OY», Финляндия, в состав которого ныне вошла фирма Nokia Cables), по европейскому гармонизированному стандарту HD 626, или в российской терминологии СИП-1, характеризуется тем, что вокруг неизолированного («голого») несущего нулевого провода скручены изолированные фазные провода. Несущий трос выполнен из алюминиевого сплава высокой прочности.

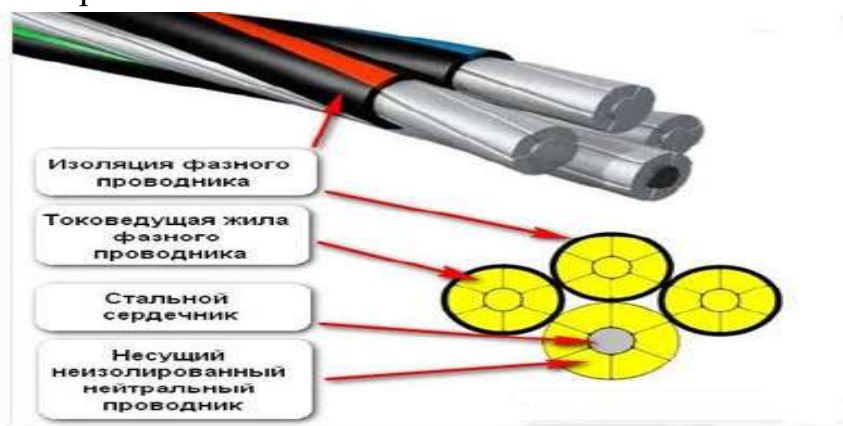


Рис. 1.1 – Самонесущий изолированный провод системы АМКА

Прочность линии в целом очень высока за счет подвески линии, и усилия тяжения передаются по системе металл-металл. При этом отсутствуют слабые звенья по всей системе подвеса, что позволяет выполнить требования надежности по финскому стандарту. Линия считается надежной в том случае, если абонент всегда получает электроэнергию, а провода всегда остаются наверху, вплоть до слома опоры.

Прочность провода и арматуры позволяет выдержать практически все непредвиденные внешние механические воздействия. По опыту, слом опор составляет не более 1,5 % случаев повреждения проводов. Изоляция СИП выполнена из термопластичного полиэтилена. Ее температурные характеристики: 70° С в долговременном режиме, 90° С в режиме длительной перегрузки (до 8 часов в сутки) и 130° С в режиме токов КЗ. Проект линии должен включать в себя заземление нулевого провода на опорах, что позволяет исключить появление потенциала на нулевом проводе при перекосе фаз. Используется для магистралей воздушных линий электропередачи (ВЛ) и линейных ответвлений от ВЛ на номинальное напряжение до 0,6/1 кВ включительно номинальной частотой 50 Гц в атмосфере воздуха типов I и II по ГОСТ 15150-69.

СИП-2А

Вторая система, известная у нас как французская система Torsada (производитель NEXANS), или АМКА-Т, по европейскому гармонизированному стандарту HD 626, или как СИП-2А по российской терминологии, возникла, когда появилась необходимость защитить «голый» несущий провод от влияния корродирующих элементов в воздухе. Это актуально на побережье соленых морей, на территориях с тропическим или близким к нему климатом. В России применение этой системы необходимо лишь на побережье Черного моря.

Защита несущего провода в этой системе достигнута тем же изоляционным слоем, что и на фазных проводах. СИП-2А характеризуется тем, что вокруг изолированного несущего нулевого провода скручены изолированные фазные провода. Несущий трос выполнен из алюминиевого сплава высокой прочности. Изоляция выполнена из силанольно-сшитого полиэтилена. Ее температурные характеристики: 90° С в долговременном режиме, 130° С в режиме длительной перегрузки (до 8 часов в сутки) и 250° С в режиме токов КЗ. Высокие температурные параметры изоляции действительно говорят в пользу этого провода. Нагрузить линию в номинальном режиме сложно даже до температуры в 70° С, но высокий уровень токов КЗ действительно важен при перегрузках. Поэтому обязательно нужно

выяснить необходимость высокого уровня изоляции для конкретной линии и соотнести с ценовой характеристикой системы. Но для несущего изолированного провода существует наиболее важная и очень сложная проблема – подвеска такого провода на опорах. Дело в том, что вся механическая нагрузка линии ложится на этот самый изоляционный слой.

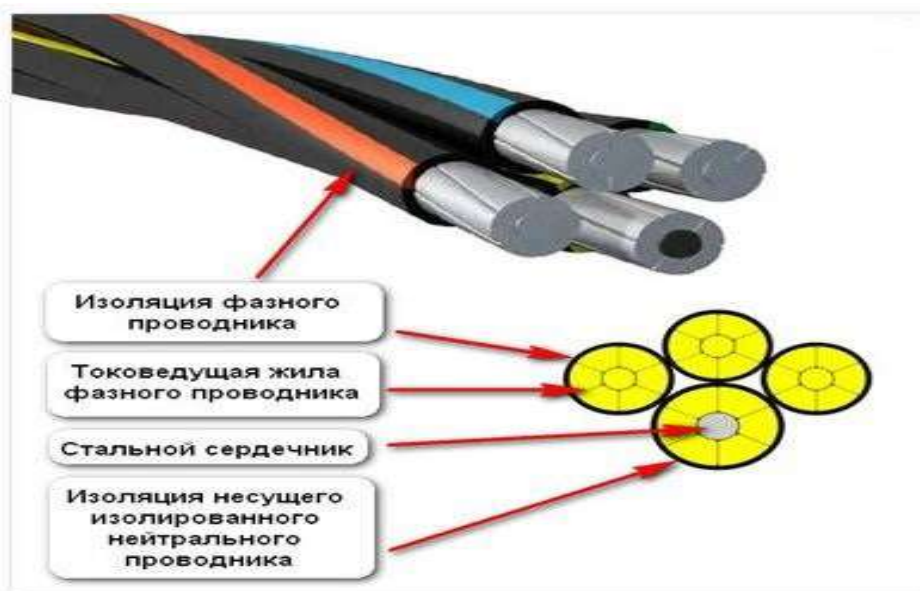


Рис. 1.2 – Самонесущий изолированный провод системы СИП-2А (Torsada)

К примеру, несущий провод 70 мм^2 в СИП $3 \times 50 + 70$ имеет разрывную прочность около 20 кН. Соответственно, если нагрузить линию так же, как нагружают «голый» несущий провод, изоляция может разорваться, особенно при монтаже прокалывающих герметичных зажимов с режущими ножевыми зубьями. Понимая это, разработчики проектов вынуждены предусматривать доста--статочно короткие анкерные пролеты в линиях, причем сами подвесные элементы выполнять значительно меньшей, но нормированной разрывной прочности. При этом, во-первых, линия оказывается перенасыщенной достаточно дорогими анкерными зажимами, а во-вторых, даже при незначительной механической перегрузке или воздействии на провод арматура разрушается, причем на нескольких опорах разом. Используется для магистралей воздушных линий электропередачи (ВЛ) и линейных ответвлений от ВЛ на номинальное напряжение до 0,6/1 кВ включительно номинальной частотой 50 Гц в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69, в том числе на побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков.

Применение проводов марки СИП-2А целесообразно только для прибрежных (морских) районов, т.к. именно там возникает необходимость в защите «голого» несущего нейтрального проводника от коррозии.

Но у данной системы имеется существенный недостаток. Дело в том, что всю механическую нагрузку линии несет изолированный нейтральный проводник, а именно слой его изоляции. Поэтому при проектировании линии с применением СИП-2А необходимо уменьшать анкерные пролеты, чтобы избежать разрыва слоя изоляции провода.

СИП-3

Самонесущий провод СИП-3 состоит из 1 токопроводящей жилы круглой формы, которая выполнена из алюминиевого сплава. СИП-3 относится к группе защищенных проводов изолированных сшитым светостабилизированным полиэтиленом (черного цвета) с номинальной толщиной изоляционного слоя 2,3 мм (на напряжение 10-20 кВ) и 3,5 мм – на проводе рассчитанном на пиковое напряжение 35. Срок службы при соблюдении условий монтажа и эксплуатации – не менее 25 лет.

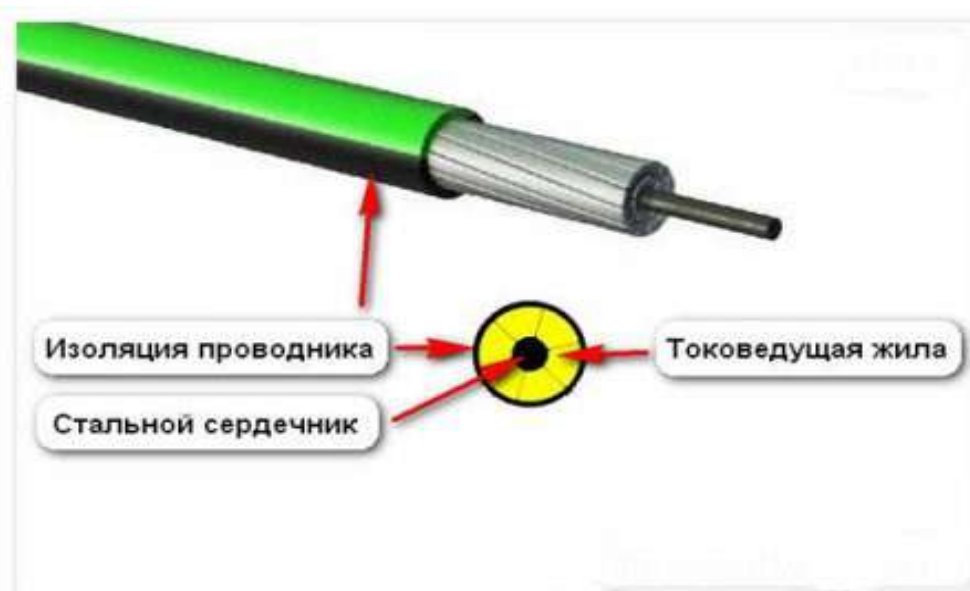


Рис. 1.3 – Самонесущий изолированный провод системы СИП-3

Характеристики СИП-3 регламентируются ГОСТ Р 52373-2005. СИП-3 применяются для организации линий воздушных передач, в климатических условиях умеренного и холодного климата (УХЛ) и холодного климата (ХЛ) при воздействиях температур в диапазоне $-60 / + 50^{\circ}\text{C}$. Возможен монтаж в промышленных районах, на морских или озерных (соленых) побережьях, в регионах засоленных песков. Но при этом важно проводить монтаж линий при t° не менее -20°C для отсутствия деформаций при натяжении. Провод СИП-3 способен выдерживать короткое замыкание в течение 1 сек без деформационных изменений. Применение СИП-3 возможно для магистралей на номинальное напряжение от 6 до 20 кВ и 35 кВ

Испытания СИП-3 проводятся переменным напряжением 24 кВ (при частоте 50 Гц) на протяжении 5 мин, выдерживают проход переменного напряжения 6 кВ (частота 50 Гц). После 10 минут выдержки в водной среде при $t^{\circ}\text{C} +20^{\circ}\text{C}$ ($\pm 10^{\circ}$) СИП-3 выдерживают испытания при подаче переменного напряжения 4 кВ (50 Гц) на протяжении 5 минут. Провода хорошо выдерживают монтажные изгибы – не меньше 10 наружных диаметров, практически невосприимчивы к воздействию УФ излучения. СИП-3 обладают стойкостью к изгиб-гибу при $t^{\circ}\text{C} - 40$. Провод СИП-3 способен выдерживать нагрев до $+ 90^{\circ}\text{C}$ в рабочем режиме и кратковременный (при коротком замыкании) до $+ 250^{\circ}\text{C}$.

Заключение

Значительная часть линий электропередач имеет весьма солидный возраст. Большинство существующих ЛЭП далеки от идеалов энергоэффективности. Сетевые компании страдают как от технических потерь, так и от банального воровства электроэнергии.

Спрос потребителей на электроэнергию увеличивается, а значит необходимо повышать пропускную способность имеющихся линий или строить новые. Причем очевидно, что новое строительство — это огромные капитальные вложения, проблемы с землеотводами и т.д.

Конечно, задача модернизации сетей распадается на много составляющих. Но одна из основных — внедрение принципиально новых типов проводов для воздушных линий.

Литература

1. История применения воздушных линий с самонесущими изолированными проводами - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electrolibrary.info/history/vlsip.htm>. – Загл. с экрана.
2. Системы СИП. Марки и характеристики СИП проводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zametkielectrika.ru/xarakteristiki-sip>. – Загл. с экрана.
3. Технические данные и описание кабеля "СИП-1, СИП-2, СИП-3" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kabelopt.ru/kabelinfo2439.php>. – Загл. с экрана.

Сведения об авторах:

Пирова Ш.Х. – преподаватель кафедры «Электрические станции» Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Бобозода Ш.А. – соискатель кафедры “Электрические станции” Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Изатулло Л. – магистрантка 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

МОДЕЛИ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

*Хабибов О.С., Раджабеков М.Х., Мусоев Ф.Ш.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Ахъев Дж.С.
Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

***Аннотация:** В статье выполнен анализ взаимосвязи между выработкой электроэнергии на гидроэлектростанциях (ГЭС) и изменениями температуры для среднесрочного прогнозирования в изолированной энергосистеме. Повышение точности прогнозирования может решить проблемы сточных вод и заброшенной электроэнергии и обеспечить безопасную работу энергосистемы.*

***Ключевые слова:** ансамблевые модели, среднесрочное прогнозирование, гидроэлектростанция, выработка электроэнергии, автономная энергосистема, температура.*

MODELS MEDIUM-TERM FORECASTING OF POWER GENERATION BY HYDROPOWER PLANTS

***Abstract:** This article analyzes the relationship between hydroelectric power generation (HPP) and temperature changes for medium-term forecasting in an isolated power system. Improving forecasting accuracy can solve problems of wastewater and abandoned electricity and ensure safe operation of the power grid.*

***Keywords:** ensemble models, medium-term forecasting, hydropower plant, power generation, autonomous power system, temperature.*

Гидроэнергетика на сегодняшний день остается наиболее важной из возобновляемых источников энергии для производства электроэнергии во всем мире, обеспечивая 19% электроэнергии планеты [1,2]. Малая гидроэлектростанция (МГЭС) в большинстве случаев является “речной”, без плотины или водохранилища и является одной из наиболее экономически эффективных и экологически безопасных энергетических технологий, которые следует рассматривать для электроснабжения сельских районов в менее экономических развитых странах [3].

Среднесрочное прогнозирование выработки электроэнергии для каждого вида возобновляемых источников является ключевым вопросом для энергосистемы, поскольку такое прогнозирование является базовым инструментом для обеспечения надежного электроснабжения, планирования резерва мощности, организации обслуживания и ремонта и ведения режима. Для собственников возобновляемых источников среднесрочное

прогнозирование имеет решающее значение для определения модели поведения на рынке электроэнергии, планирования задач по техническому обслуживанию и формирования плановых показателей с горизонтом в одну неделю.

В данной работе рассмотрен подход по использованию компактных моделей на базе машинного обучения для среднесрочного прогнозирования выработки электроэнергии гидроэлектростанциями с учётом изменений температуры, отличием которого является полная автономность и автоматизация обучения и исключение риска переобучения.

Постановка задачи и исходные данные

Исследуемым объектом является автономная энергосистема Горно-Бадахшанской автономной области – региона Республики Таджикистан. Автономной энергосистемой ГБАО управляет компания Pamir Energy, на балансе которой находится 11 ГЭС общей мощностью 43,5 МВт. На сегодняшний день автономная энергосистема ГБАО испытывает серьезные трудности, связанные с устойчивым дефицитом электроэнергии в зимний период с ноября по март. Основными причинами дефицита электроэнергии в автономной энергосистеме ГБАО являются следующие [4-5]:

- изолированная работа энергосистемы;
- ограниченность стока воды в реках в зимнем периоде;
- отсутствие сезонных накопителей энергии (водохранилищ);
- рост потребления электрической энергии населением в зимнем отопительном периоде.

Задача прогнозирования в данной работе сформулирована следующим образом. Построение модели, выполняющей преобразование входных данных (признаков) X в прогноз вырабатываемой за сутки электроэнергии мощностей генерации на неделю (7 дней) вперед Y^* :

$$Y^* = f(X) \quad (1)$$

Показателем точности прогноза в данной работе выбран средний модуль процента ошибки (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i^* - y_i}{y_i} \right| \quad (2)$$

где n – число дней в выборке; y_i^* – прогнозное значение генерируемой электроэнергии в i -е сутки; y_i – истинное значение в i -е сутки.

Используемый набор данных содержит суточные значения вырабатываемой электроэнергии (изолированная энергосистема ГБАО) с ноября по март включительно за 5 лет (2015–2019), и среднесуточные

температуры, данные за 765 суток. Для обработки данных номера месяцев были преобразованы следующим образом: ноябрь – 1, декабрь – 2, ... март – 5. Отсчет лет начинается с 2015, так что номера годов преобразованы к диапазону 1–5. На Рисунке 1 приведены графики за один и тот же месяц (январь).

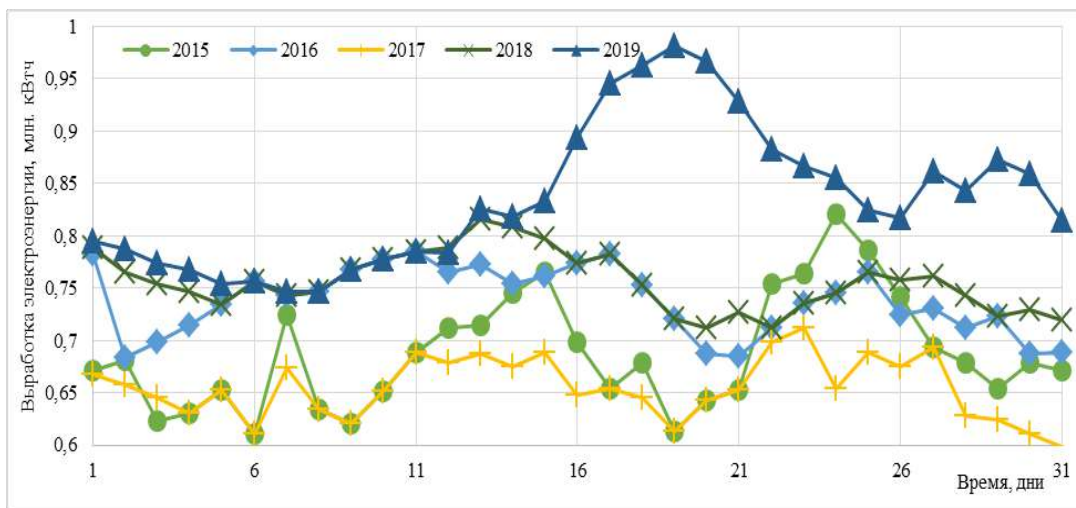


Рис. 1. Фрагмент выборки данных (январь 2015–2019 гг.)

Анализ данных и формирование выборки для применения моделей машинного обучения

Перед построением модели прогнозирования необходимо провести оценку и отбор наиболее значимых признаков, что может существенно повлиять на процесс обучения моделей на базе машинного обучения [18].

	день	месяц	год	температура	влажность	скорость ветра	выработка
день	1,00	0,0	0,01	0,03	0,05	0,00	0,00
месяц	0,01	1,00	0,00	0,43	0,48	0,09	-0,18
год	0,00	0,00	1,00	-	0,10	-	0,38
температура	0,03	0,43	-	1,00	-	0,27	0,36
влажность	0,05	-	0,10	-	1,00	-	0,00
скорость ветра	0,00	0,09	-	0,27	-	1,00	0,04

выработка	0,00	- 0,18	0,38	0,36	0,00	0,04	1,00
-----------	------	-----------	------	------	------	------	------

Рисунок 2. Матрица коэффициентов корреляции

Помимо календарных данных (год, месяц и число месяца), для прогноза необходимо использовать ретроспективные данные генерации. Также в работе проверяется гипотеза о влиянии среднесуточной температуры на точность прогноза.

На Рисунке 2 показана матрица, состоящая из коэффициентов корреляции Пирсона для факторов, которые могут быть использованы при прогнозировании. Кроме них, используются ретроспективные данные выработки электроэнергии в предыдущие дни.

Сформированная в итоге структура выборки данных для построения регрессионных моделей показана в Таблице 1, где m – длина используемого временного ряда ретроспективных значений. Если используется неделя, от $m = 7$, две недели – 14 и т.д. Например, если $m = 7$ и дается прогноз на 26 января, то для формирования прогноза будут использованы ретроспективные данные с 19 ($\Gamma_7, 26 - 7 = 19$) по 13 ($\Gamma_{13}, 26 - [7 + m - 1] = 13$) января включительно.

Таблица 1.

Структура выборки для применения машинного обучения и пример заполнения

День	Месяц	Год	Средне суточн ая темпер атураС	Γ_7 , млн. кВтч	Γ_8 , млн. кВтч	..	Γ_{m+7-2} , млн. кВтч	Γ_{m+7-1} , млн. кВтч	Γ , млн. кВтч (прогно зируем
26	3	2	-3,2	0,687	0,72	..	0,684	0,782	0,724

Число записей в выборке зависит от m , так как для первых $m + 7$ дней начального месяца (ноября) нет нужного количества ретроспективных данных. Выборка делится на обучающую-валидационную и тестовую в пропорции 4 к 1. Нужно отметить, что выборка не перемешивалась, так что тестирование было проведено в условиях, соответствующих реальным, когда модель обучается на ретроспективных данных, а затем используется в будущем на новых данных. В Таблице 2 приведены размеры выборок при разных значениях m .

Таблица 2.

Размеры выборок при разных интервалах используемых ретроспективных данных

<i>m</i>	Число столбцов	Число строк в обучающей выборке	Число строк в валидационной выборке	Число строк в тестовой выборке
7	11	576	110	137
14	18	547	104	130
21	25	518	98	123

Используемые модели машинного обучения

Модели, подбираемые гипер-параметры и диапазоны их значений приведены в Таблице 3. Для настройки гипер-параметров модели был применен случайный поиск (Random Search). Подбор гипер-параметров выполнялся при *m* равном 14. Программные реализации моделей, кроме XGBoost, взяты из открытой библиотеки Scikit-Learn. Для не приведенных в Таблице 3 гипер-параметров использованы значения по умолчанию из указанных источников.

Таблица 3.

Результаты подбора гипер-параметров примененных моделей машинного обучения

Модель	Гипер-параметр	Мин. значение	Макс. значение	Шаг	Подобранное значение	
Адаптивный бустинг деревьев решений (ABDT)	Линейная / полиномиальная регрессия с регуляризацией Тихонова [4*] (LR)	степень полинома	1	3	1	1
	к-ближайших соседей (kNN)	число ближайших соседей <i>k</i>	2	8	1	2
	число базовых моделей	10	50	1	14	
Адаптивный бустинг линейных моделей (ABLR)	глубина деревьев	2	6	1	3	
	минимальное число точек данных для ветвления	2	8	1	3	
Случайный лес (RF)	число базовых моделей	2	10	1	2	
		10	50	1	37	

	глубина деревьев	2	10	1	5
	минимальное число точек данных для ветвления	2	8	1	2
Экстремальный градиентный бустинг (XGB)	число базовых моделей	10	50	1	29
	глубина деревьев	2	10	1	4
	скорость обучения	0.01	0.5	0.05	0.3
Многослойный перцептрон (MLP)	число нейронов первого скрытого слоя	10	200	10	90
	число нейронов первого скрытого слоя	10	100	10	80

Результаты

Результаты моделей при различных вариантах используемых входных признаков на тестовой выборке приведены в Таблице 4 и на Рисунке 3.

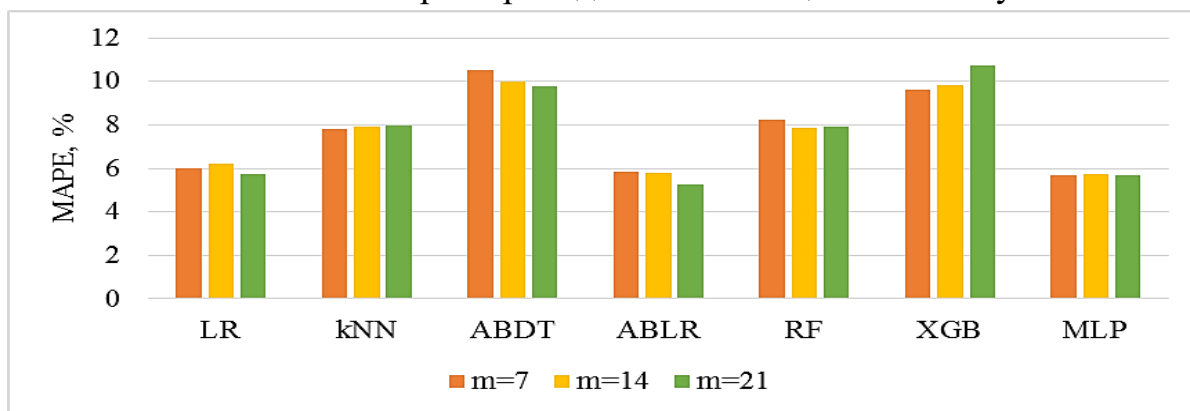


Рисунок 3. Сравнение результатов моделей

Таблица 4.

Сравнение результатов моделей, приведены значения метрики ошибки MAPE, в каждой строке выделены наилучшие результаты, полученные для соответствующей модели

Модель	Без использования температуры			С использованием температуры		
	7	14	21	7	14	21
LR	5,99	6,20	5,76	6,53	7,15	7,19

kNN	7,83	7,90	7,99	13,41	14,12	13,35
ABDT	10,52	10,00	9,80	10,78	10,35	10,01
ABLR	5,82	5,78	5,23	6,25	7,30	6,98
RF	8,21	7,87	7,93	8,29	8,13	7,72
XGB	9,61	9,83	10,71	10,84	11,80	12,76
MLP	5,70	5,71	5,70	8,69	9,86	10,12

Из полученных результатов можно сделать следующие заключения.

1. Ансамбли деревьев решений, то есть моделей с дискретным (кусочно-постоянным) выходом уступает моделям с непрерывным выходом на 2-5 процентных пункта.

2. Для моделей с использованием линейной регрессии (LR и ABLR) увеличение интервала используемых ретроспективных данных несколько снижает ошибку, можно предположить, что за счет более точного определения тренда.

3. Наилучшая точность получена при использовании адаптивного бустинга с линейной регрессией в качестве базовой модели, что совпадает с результатами, полученными ранее для прогнозирования электропотребления данной системы.

4. Существенное снижение точности моделей при использовании метеорологических данных является несколько неожиданным результатом, который требует дополнительного анализа. Вероятно, изменение климата год от года приводит и к изменению зависимостей между генерацией и температурой, так что модель, обученная на данных четырех первых лет, находит зависимости между температурой и генерацией, которые на следующий год оказываются измененными.

Заключение

В данной работе основное внимание уделяется разработке модели среднесрочного прогнозирования выработки электроэнергии гидроэлектростанции на неделю вперед в автономных энергосистемах с высокой долей ГЭС. Выполнен анализ семи различных моделей для прогнозирования выработки гидроэлектростанций на основе ретроспективных данных о генерации и метеорологических параметров. Наилучший результат был получен при использовании адаптивного бустинга с линейной регрессией в качестве базовой модели.

Литература

1. Sachdev, Hira Singh, Ashok Kumar Akella, and Niranjana Kumar. "Analysis

and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical survey." Renewable and Sustainable Energy Reviews 51 (2015): 1013-1022.

2. Kishore, T. S., Patro, E. R., Harish, V. S. K. V., & Haghghi, A. T. (2021). A Comprehensive Study on the Recent Progress and Trends in Development of Small Hydropower Projects. Energies, 14(10), 2882.

3. Asanov M.S. et al. Algorithm for calculation and selection of micro hydropower plant taking into account hydrological parameters of small watercourses mountain rivers of Central Asia // Int. J. Hydrogen Energy. 2021. Vol 46, № 75. P. 37109-37119

4. Гуломзода А. Х., Сафаралиев М. Х., Люханов Е. А. Модифицированный способ синхронизации microgrid с внешней изолированной энергосистемой //Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – №. 3. – С. 72-80.

5. Киргизов А.К., Султонов Ш.М., Кокин С.Е., Сафаралиев М.Х. Алгоритм выбора компенсирующих устройств на основе нечеткой логики // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. 2018. №4 (44). С.10-13.

Сведения об авторах

Хабибов О.С. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Раджабеков М.Х. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Мусоев Ф.Ш. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СРЕДНЕ- И ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Раджабеков М.Х., Давлатмамадов Н.Г., Сулаймонов Б.Дж.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ахъёев Дж.С.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

***Аннотация:** В статье произведен анализ методов для средне- и долгосрочного прогнозирования генерации гидроэнергии. Рассматриваются различные методы моделирования и подходы, включая их практическое применение, требования к данным, этапы предварительной обработки и методы оценки моделей.*

***Ключевые слова:** генерация гидроэнергии, прогнозирование, методы моделирования, статистические модели, машинное обучение.*

ANALYSIS OF THE METHODS OF MEDIUM- AND LONG-TERM FORECASTING OF HYDROPOWER PLANT GENERATION

***Abstract:** The article analyzes methods for medium- and long-term forecasting of hydropower generation. Various modeling techniques and approaches are reviewed, including their practical applications, data requirements, preprocessing steps, and model evaluation methods.*

***Keywords:** hydropower generation, forecasting, modeling methods, statistical models, machine learning.*

Гидроэнергетика является важным источником возобновляемой энергии и составляет значительную долю глобального производства электроэнергии. Эффективное использование гидроэнергетических ресурсов требует точного прогнозирования уровней генерации, особенно в средне- и долгосрочной перспективе. Среднесрочный прогноз, обычно на период от нескольких недель до нескольких месяцев вперед, критичен для планирования энергетики, управления водохранилищами и планирования технического обслуживания. Долгосрочный прогноз, охватывающий несколько месяцев до нескольких лет, важен для стратегического принятия решений, таких как планирование инфраструктуры и инвестиций [1-3].

На протяжении многих лет были разработаны различные методы и модели для прогнозирования генерации гидроэнергии. Эти модели направлены на улавливание сложных взаимодействий между метеорологическими факторами, гидрологическими процессами и динамикой энергетической системы. Точные прогнозы позволяют операторам сети оптимизировать

распределение ресурсов, обеспечивать стабильность сети и облегчать интеграцию других возобновляемых источников энергии [4, 5].

Методы моделирования для средне- и долгосрочного прогнозирования генерации гидроэнергии

В этом разделе мы рассмотрим различные методы моделирования, используемые для средне- и долгосрочного прогнозирования генерации гидроэнергии. Эти методы включают статистические модели, машинное обучение и физические модели.

Статистические модели

Статистические модели основаны на анализе статистических связей между историческими данными о генерации гидроэнергии и соответствующими метеорологическими и гидрологическими факторами. Одним из наиболее распространенных методов является регрессионный анализ, который моделирует зависимость между генерацией гидроэнергии и независимыми переменными, такими как уровень воды, осадки, температура и другие факторы. Статистические модели основаны на анализе статистических связей между историческими данными о генерации гидроэнергии и соответствующими метеорологическими и гидрологическими факторами. Одним из наиболее распространенных методов является регрессионный анализ, который моделирует зависимость между генерацией гидроэнергии и независимыми переменными, такими как уровень воды, осадки, температура и другие факторы. Формула для простой линейной регрессии выглядит следующим образом:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (1)$$

где: y - представляет собой генерацию гидроэнергии, x - представляет собой метеорологические или гидрологические факторы, β_0 и β_1 - коэффициенты регрессии, ε - остатки.

Регрессионный анализ позволяет оценить влияние каждого фактора на генерацию гидроэнергии и построить модель, которая может использоваться для прогнозирования будущей генерации на основе значений этих факторов.

Методы машинного обучения

Методы машинного обучения предлагают более гибкий и мощный подход к прогнозированию генерации гидроэнергии. Они могут обрабатывать большие объемы данных и автоматически извлекать сложные зависимости между различными переменными. Вот несколько методов машинного обучения, которые могут быть применены в задаче прогнозирования генерации гидроэнергии:

Случайные леса (Random Forests): Этот метод основан на ансамблевом подходе, который комбинирует несколько деревьев решений для получения более точных прогнозов. Случайные леса могут учитывать нелинейные зависимости и взаимодействия между переменными.

Градиентный бустинг (Gradient Boosting): Этот метод также использует ансамблевый подход, но строит модель путем последовательного добавления слабых моделей в композицию. Градиентный бустинг позволяет эффективно моделировать сложные зависимости и обрабатывать большие объемы данных.

Нейронные сети (Neural Networks): Нейронные сети моделируют сложные нелинейные зависимости, имитируя работу человеческого мозга. Они состоят из множества взаимосвязанных нейронов, которые обрабатывают информацию и генерируют прогнозы. Нейронные сети могут быть очень гибкими и адаптивными, но требуют большого объема данных для обучения.

Глубокое обучение (Deep Learning): Это подкласс нейронных сетей, который состоит из множества слоев и более сложных архитектур. Методы глубокого обучения могут автоматически извлекать высокоуровневые признаки из данных и достигать высокой точности прогнозирования. Однако, для их эффективного использования требуется большой объем данных и вычислительные ресурсы.

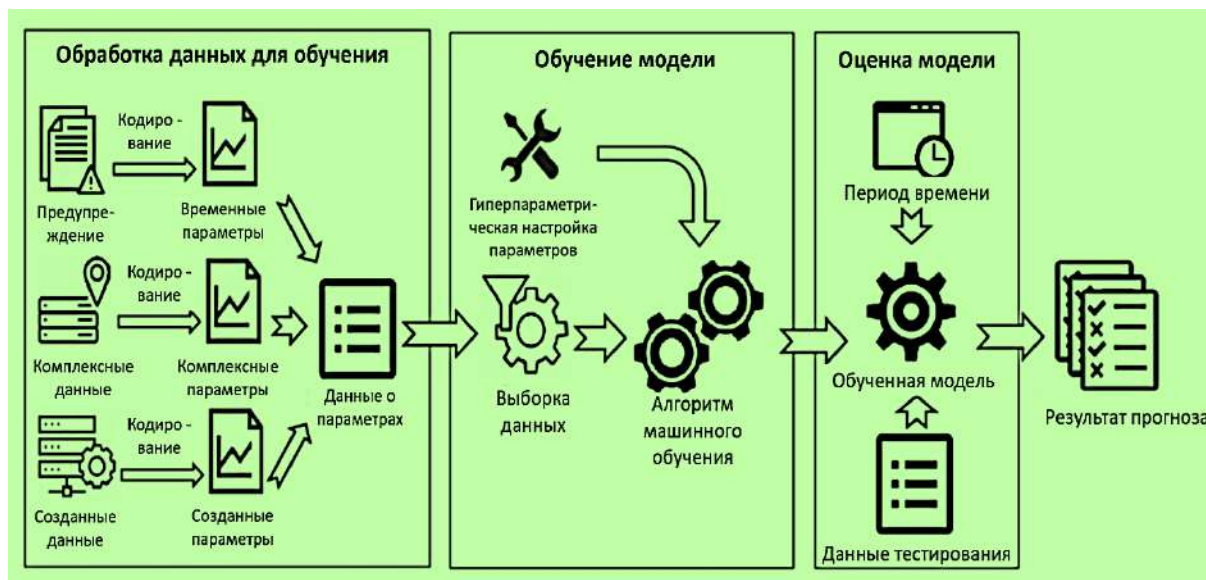


Рис. 1. Алгоритм машинного обучения в прогнозировании

Методы машинного обучения предоставляют мощный инструментарий для прогнозирования генерации гидроэнергии и могут значительно улучшить точность прогнозов. Однако, выбор подходящего метода зависит от конкретной задачи и доступных данных. Исследователи и инженеры должны

экспериментировать с различными методами и выбирать наиболее подходящий для своего конкретного случая

Физические модели

Физические модели, используемые для прогнозирования генерации гидроэнергии, основаны на математическом описании физических процессов, связанных с гидрологическими системами. Эти модели учитывают физические законы, такие как законы сохранения массы и энергии, и моделируют динамику водных потоков и резервуаров.

Одной из ключевых формул, используемых в физических моделях, является уравнение непрерывности, которое описывает сохранение массы в гидрологической системе. В дифференциальной форме оно записывается следующим образом:

$$\frac{\partial t}{\partial Q} + \nabla \cdot (Qv) = S \quad (2)$$

где: $\frac{\partial t}{\partial Q}$ - изменение объемного расхода во времени, $\nabla \cdot (Qv)$ - дивергенция потока массы, S - источник или сток массы в системе, Q - объемный расход, v - вектор скорости потока.

Для моделирования энергетических аспектов гидрологической системы используются также уравнения сохранения энергии. Например, уравнение Бернулли может быть применено для описания энергетических изменений в потоке жидкости:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const} \quad (3)$$

где: P - давление жидкости, ρ - плотность жидкости, v - скорость потока, g - ускорение свободного падения, h - высота над определенным уровнем.

Это уравнение показывает, как давление, кинетическая энергия и потенциальная энергия в потоке связаны между собой.

Для точных прогнозов генерации гидроэнергии необходимо обладать качественными данными о метеорологических и гидрологических условиях. Важно иметь доступ к историческим данным о генерации гидроэнергии, уровнях воды, осадках, температуре и других факторах. Эти данные могут быть получены из наблюдений, датчиков и моделей.

Перед использованием данных для моделирования необходимо выполнить предварительную обработку. Этот этап включает в себя несколько шагов:

1. *Очистка данных:* Важно удалить выбросы и исправить ошибки в данных. Выбросы могут быть вызваны техническими проблемами или аномальными событиями, и их удаление помогает избежать искажений в моделировании.

2. *Заполнение пропущенных значений:* В данных могут быть пропущенные значения, и их заполнение или удаление также является важным шагом. Различные методы, такие как интерполяция или использование статистических моделей, могут быть применены для заполнения пропусков.

3. *Агрегация данных:* Для моделирования генерации гидроэнергии может потребоваться агрегация данных на нужные временные шаги. Например, данные о дневной генерации могут быть агрегированы до ежечасных значений.

4. *Преобразование переменных:* В некоторых случаях может потребоваться преобразование переменных для достижения линейности или нормальности распределения данных. Например, логарифмическое преобразование может быть применено к генерации гидроэнергии для сглаживания сезонных эффектов.

Важно также учесть сезонные и годовые циклы в данных. Например, генерация гидроэнергии может иметь ярко выраженные сезонные колебания, связанные с изменениями в осадках или температуре.

Убедитесь в том, что формулы и методы предварительной обработки данных соответствуют вашим конкретным требованиям и характеристикам данных.

Оценка моделей

Оценка производительности прогностических моделей является важным шагом в процессе прогнозирования генерации гидроэнергии. Различные метрики могут быть использованы для оценки точности моделей, включая среднеквадратичную ошибку (RMSE), среднюю абсолютную ошибку (MAE) и коэффициент детерминации (R-квадрат).

Среднеквадратичная ошибка (RMSE) вычисляется как квадратный корень из среднего значения квадратов разностей между прогнозируемыми (\hat{y}_t) и фактическими (y_t) значениями:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2} \quad (4)$$

Средняя абсолютная ошибка (MAE) вычисляется как среднее значение абсолютных разностей между прогнозируемыми и фактическими значениями:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |\hat{y}_t - y_t| \quad (5)$$

Коэффициент детерминации (R-квадрат) показывает, насколько хорошо модель объясняет изменчивость данных. Он вычисляется как отношение объясненной суммы квадратов (SSR) к общей сумме квадратов (SST):

$$R^2 = 1 - SSR/SST \quad (6)$$

где SSR равно сумме квадратов разностей между прогнозируемыми значениями и средним значением фактических данных, а SST равно сумме квадратов разностей между фактическими значениями и их средним значением.

Для оценки производительности моделей в прогнозировании генерации гидроэнергии часто используются методы временного ряда, такие как скользящее окно и перекрестная проверка. Скользящее окно предполагает разделение данных на тренировочный и тестовый наборы, где модель обучается на тренировочном наборе и затем прогнозирует значения на тестовом наборе. Это позволяет оценить, насколько хорошо модель обобщает данные и способна прогнозировать будущие значения.

Перекрестная проверка является еще более надежным методом оценки производительности моделей. Он предполагает разделение данных на несколько поднаборов, где каждый поднабор поочередно используется в качестве тестового набора, а остальные поднаборы - в качестве тренировочного. Это позволяет получить более обобщенную оценку производительности модели, так как она оценивается на разных наборах данных.

Использование этих методов оценки и метрик позволяет определить, насколько точно модель прогнозирует генерацию гидроэнергии и как она справляется с прогнозированием будущих значений. Это помогает выбрать наиболее подходящую модель для практического применения и улучшить точность прогнозов.

Заключение

Точное прогнозирование генерации гидроэнергии играет важную роль в эффективном управлении энергетической сетью и интеграции возобновляемых источников энергии. В данной статье мы представили анализ методов для средне- и долгосрочного прогнозирования генерации гидроэнергии, обсудили требования к данным, этапы предварительной обработки, методы оценки моделей, практическое применение и вызовы в этой области.

Улучшение прогнозов генерации гидроэнергии требует более подробных и надежных данных, разработки точных и физически основанных моделей, учета климатической неопределенности и интеграции с другими источниками возобновляемой энергии. Более точные прогнозы позволяют оптимально использовать ресурсы, обеспечить стабильность энергетической сети и способствовать устойчивому развитию энергетики.

Литература

1. Sachdev, Hira Singh, Ashok Kumar Akella, and Niranjana Kumar. "Analysis and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical

survey." Renewable and Sustainable Energy Reviews 51 (2015): 1013-1022.

2. Kishore, T. S., Patro, E. R., Harish, V. S. K. V., & Haghghi, A. T. (2021). A Comprehensive Study on the Recent Progress and Trends in Development of Small Hydropower Projects. *Energies*, 14(10), 2882.

3. Asanov M.S. et al. Algorithm for calculation and selection of micro hydropower plant taking into account hydrological parameters of small watercourses mountain rivers of Central Asia // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2021. Vol 46, № 75. P. 37109-37119

4. Bayazit, Y., Bakış, R., & Koç, C. (2020). A study on transformation of multi-purpose dams into pumped storage hydroelectric power plants by using GIS model. *International Journal of Green Energy*, 1-11.

5. Ghulomzoda A. et al. Recloser-Based Decentralized Control of the Grid with Distributed Generation in the Lahsh District of the Rasht Grid in Tajikistan, Central Asia // *Energies*. 2020. Vol. 13, № 14. P. 3673.

Сведения об авторах

Раджабеков М.Х. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Давлатмамадов Н.Г. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Сулаймонов Б.Дж. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

АНАЛИЗ НЕЧЕТКИХ ПРИЗНАКОВ НЕИСПРАВНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Салимов Н.М., Саидов М.А., Азимов О.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ахъёев Дж.С.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Аннотация: В статье показаны возможности анализа нечеткой и неопределенной информации о неисправности трансформаторного оборудования и процесс принятия решения о необходимости вывода оборудования в ремонт. Такой анализ проводится на основе экспертных оценок, после снятия показаний с датчиков и на основе вербального анализа.

Ключевые слова: принятие решения, нечёткая логика, шкала Саати.

ANALYSIS OF FUZZY SIGNS OF MALFUNCTION OF TRANSFORMER EQUIPMENT

Abstract: The article shows the possibilities of analyzing fuzzy and uncertain information about the malfunction of transformer equipment and the process of deciding on the need to remove equipment for repair. Such an analysis is carried out on the basis of expert assessments, after taking readings from sensors and on the basis of verbal analysis.

Key words: decision making, fuzzy logic, Saaty scale.

Транспорт электроэнергии состоит из нескольких этапов, а именно: повышение величины напряжения электроэнергии, получаемой с шин электрической станции, до уровня, удовлетворяющего критериям экономической целесообразности; передача электроэнергии по сетям электроэнергетической системы к центрам потребления; преобразование величины напряжения до уровня номинального напряжения электрических приемников.

Изменение величины напряжения передаваемой электрической энергии необходимо для снижения потерь и увеличения количества передаваемой энергии по сетям электроэнергетических систем и систем электроснабжения. Кроме того, в ряде случаев требуется применение устройств компенсации реактивной мощности необходимых для регулирования напряжения в сети, повышения статической и динамической устойчивости, а также для ограничения коммутационных перенапряжений. Известно, что силовые трансформаторы могут преобразовать величину напряжения, а шунтирующие реакторы применяются в качестве устройств компенсации реактивной мощности. Задачи силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов

различны, но конструкция и виды неисправностей, встречающихся как на трансформаторах, так и на реакторах, позволяет нам объединить их под одним термином «трансформаторное оборудование». Данный термин объединяет силовые трансформаторы и масляные шунтирующие реакторы, конструкция которых схожа и в разрезе интересующей нас диагностики эти устройства имеют одинаковые дефекты и признаки неисправностей.

Общие положения

Принятие решения – вид деятельности, включающий в себя процесс сбора, анализа информации об объекте и выбор наиболее оптимального варианта из имеющихся возможных. Процесс принятия решения может быть произведен после осмотра электрооборудования и выявления признаков неисправности. Признаков может быть множество, но приведем лишь некоторые из них, на практике встречающихся довольно часто:

P_1 – требуется немедленный вывод оборудования в ремонт;

P_2 – возможная дальнейшая эксплуатация с учащенным контролем параметров.

Основными выводами, сделанными на основе анализа признаков, могут быть:

G_1 – высокая температура окружающей среды;

G_2 – неисправность системы охлаждения трансформаторного оборудования;

G_3 – перегрузка по току;

G_4 – пожар стали магнитопровода;

G_5 – несимметричность нагрузки по фазам;

G_6 – повреждение внутри бака трансформатора или реактора;

G_7 – ухудшение изоляционных характеристик ввода;

G_8 – атмосферные осадки.

Стоит заметить, что, как правило, повреждение вызывающее глубокое изменение в работе трансформатора или реактора (короткое замыкание, интенсивное газовыделение), ликвидируется релейной защитой и в данном случае не рассматривается. Но есть развивающиеся дефекты, которые не вызывают каких-либо серьезных отклонений в краткосрочной перспективе, и потому располагают временем для их распознавания и принятия соответствующих мер.

Предположим, что имеются все четыре признака неисправности. Каким образом можно выделить наиболее важные, а в стороне оставить менее значительные признаки?

Стоит отметить, что человеку свойственно оперировать лингвистическими определениями, а затем, при необходимости, переводить эту информацию в цифровое поле, если при этом существует шкала измерений, которая может установить связь между нечеткой лингвистической информацией и четкой цифровой. Так, специалист обслуживающий электротехническое оборудование, не может четко определить, насколько уровень шума и вибрации превосходит значения, которые считаются критическими. Он может сказать, что уровень вибрации «очень высокий», либо «сегодня уровень шума намного больше». Возникает несколько важных вопросов, а именно: каким образом определить момент, когда за оборудованием необходим более внимательный контроль; как определить степень признака неисправности, то есть насколько данный признак превосходит тот уровень, ниже которого находятся нечеткие признаки исправного оборудования; в чем первопричина неисправности; какие действия предпринять в дальнейшем.

Понятие нечеткого множества – это попытка формализации лингвистической информации для построения математических моделей. В основе этого лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать им в различной степени и, следовательно, принадлежать к этому множеству с различной степенью. Лингвистическая переменная – это переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания [1]. Ежедневно мы принимаем решения на основе лингвистической информации типа: «очень высокая температура»; «утомительная поездка» и прочее. Эта информация не несет в себе точных определений, поэтому она является нечеткой.

Диагностическая модель трансформаторного оборудования

Разобраться в предыдущих вопросах поможет шкала парных сравнений, опыт и знания экспертов, а также лингвистическая информация о текущем состоянии трансформаторного оборудования.

Сравним эти признаки по фундаментальной шкале Саати [2], которая имеет девять степеней предпочтения:

- 1 степень* – равная предпочтительность;
- 2 степень* – слабая степень предпочтения;
- 3 степень* – средняя степень предпочтения;
- 4 степень* – предпочтение выше среднего;
- 5 степень* – умеренно сильное предпочтение;

- 6 степень – сильное предпочтение;
- 7 степень – очень сильное (очевидное) предпочтение;
- 8 степень – очень, очень сильное предпочтение;
- 9 степень – абсолютное предпочтение.

Если признак A имеет умеренно сильное предпочтение над признаком B то последний имеет обратную степень предпочтения над A .

Сравнение признаков производится с учетом наличия одной из восьми причин неисправности. Суть заключается в том, что для человека привычнее задавать переменные не числами, а словами, а также получать и воспроизводить информацию, содержащие в себе компоненты неточности. В следующих матрицах представлены степени предпочтения одних признаков неисправности над другими с учетом одного из двух выводов:

$$A(G_1) = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \quad A(G_2) = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}$$
$$\lambda_{\max G_1} = 1,9995; \quad I.C._{G_1} = 0,005. \quad \lambda_{\max G_2} = 2; \quad I.C._{G_2} = 0.$$

$$A(G_3) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 \end{bmatrix} \quad A(G_4) = \begin{bmatrix} 1 & 7 \\ \frac{1}{7} & 1 \end{bmatrix}$$
$$\lambda_{\max G_3} = 1,9995; \quad I.C._{G_3} = 0,005. \quad \lambda_{\max G_4} = 1,997; \quad I.C._{G_4} = 0,003.$$

$$A(G_5) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} \\ 5 & 1 \end{bmatrix} \quad A(G_6) = \begin{bmatrix} 1 & 9 \\ \frac{1}{9} & 1 \end{bmatrix}$$
$$\lambda_{\max G_5} = 2; \quad I.C._{G_5} = 0. \quad \lambda_{\max G_6} = 1,9995; \quad I.C._{G_6} = 0,005.$$

$$A(G_7) = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix} \quad A(G_8) = \begin{bmatrix} 1 & 7 \\ \frac{1}{7} & 1 \end{bmatrix}$$
$$\lambda_{\max G_7} = 2; \quad I.C._{G_7} = 0. \quad \lambda_{\max G_8} = 1,997; \quad I.C._{G_8} = 0,003.$$

Расчет коэффициентов относительной важности критериев проведем методом парных сравнений по фундаментальной шкале Саати. Будем считать известными следующие лингвистические парные сравнения важности критериев $G_1 - G_8$.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 7 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1 & 7 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 9 & 9 \\ 1 & 0,2 & 1 & 1 & 1 & 3 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 3 & 9 & 9 \\ 0,142 & 0,142 & 0,2 & 0,333 & 0,333 & 1 & 7 & 7 \\ 0,111 & 0,111 & 0,111 & 0,111 & 0,111 & 0,142 & 1 & 1 \\ 0,111 & 0,111 & 0,111 & 0,111 & 0,111 & 0,142 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Находим коэффициенты относительной важности признаков $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, G_7, G_8$. После необходимых расчетов получаем: $\bar{b}_1 = 0,445$; $\bar{b}_2 = 0,597$; $\bar{b}_3 = 0,413$; $\bar{b}_4 = 0,326$; $\bar{b}_5 = 0,382$; $\bar{b}_6 = 0,134$; $\bar{b}_7 = 0,039$; $\bar{b}_8 = 0,039$, означающие наиболее важные предпосылки G_1 и G_2 . Максимальное собственное число вектора $\lambda_{max} = 8,575$, индекс согласованности суждений $I.C. = 0,08$.

Произведем расчет нечетких множеств по следующему выражению:

$$\mu_D(P_j) = \min(\mu_{G_i}(P_j))^{\alpha_i}. \quad (1)$$

Из (1) получаем нечеткие множества:

$$\begin{aligned} \tilde{G}_1^{\alpha_1} &= \left\{ \frac{0,977}{P_1}, \frac{0,599}{P_2} \right\}; \tilde{G}_2^{\alpha_2} = \left\{ \frac{0,988}{P_1}, \frac{0,378}{P_2} \right\}; \\ \tilde{G}_3^{\alpha_3} &= \left\{ \frac{0,621}{P_1}, \frac{0,978}{P_2} \right\}; \tilde{G}_4^{\alpha_4} = \left\{ \frac{0,997}{P_1}, \frac{0,528}{P_2} \right\}; \\ \tilde{G}_5^{\alpha_5} &= \left\{ \frac{0,537}{P_1}, \frac{0,992}{P_2} \right\}; \tilde{G}_6^{\alpha_6} = \left\{ \frac{0,999}{P_1}, \frac{0,744}{P_2} \right\}; \\ \tilde{G}_7^{\alpha_7} &= \left\{ \frac{0,999}{P_1}, \frac{0,938}{P_2} \right\}; \tilde{G}_8^{\alpha_8} = \left\{ \frac{1}{P_1}, \frac{0,926}{P_2} \right\}. \end{aligned}$$

Пересечение этих нечетких множеств дает такие степени принадлежности нечеткого решения \tilde{D} :

$$\mu_D(P_1) = \min(0,977; 0,988; 0,621; 0,997; 0,537; 0,999; 0,999; 1) = 0,537;$$

$$\mu_D(P_2) = \min(0,599; 0,378; 0,978; 0,528; 0,992; 0,744; 0,938; 0,926) = 0,378;$$

В результате получаем нечеткое множество

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0,537}{P_1}, \frac{0,378}{P_2} \right\},$$

свидетельствующее преимущество варианта, предусматривающего немедленный вывод оборудования из работы.

Заключение

В результате проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что при наличии признаков неисправности и оценки этих признаков по шкале предпочтений, а также исходя из нечеткой информации о возможных причинах, или предпосылках неисправности трансформаторного оборудования и на основе экспертных оценок, повышенная вибрация и шум могут быть вызваны повреждением внутри бака трансформатора или реактора, либо пожаром стали магнитопровода.

Так, первопричиной повышенного шум и вибрации трансформатора или реактора, в данном случае, могут быть следующие отклонения:

- повреждение внутри бака с вероятностью 0,441;
- пожар стали магнитопровода с вероятностью 0,208;
- ухудшение изоляционных характеристик ввода с вероятностью 0,117;
- неисправность системы охлаждения с вероятностью 0,095;
- перегрузка по току с вероятностью 0,046;
- атмосферные осадки с вероятностью 0,036;

Математически обоснованный процесс принятия решения для целей диагностики силового электротехнического оборудования поможет субъектам электроэнергетики качественно и безаварийно эксплуатировать электроэнергетический комплекс, повысит социальную ответственность, снизит издержки в отрасли, что в итоге положительно скажется на общем экономическом состоянии современного общества.

Литература

1. Zadeh L. Fuzzy Sets// Information and Control. – 1965. - № 8. – P. 338-353.
2. Thomas L. Saaty. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process. – 2008. - № 102. – p. 251-318
3. V. Z. Manusov, J.S. Ahyoev, Technical Diagnostics of Electric Equipment with the Use of Fuzzy Logic Models // Applied Mechanics and Materials Vol. 792 (2015) pp 324-329.
4. В.З. Манусов, Д.И. Коваленко, С.А. Дмитриев, С.А. Ерошенко. Анализ нечетких признаков неисправностей трансформаторного оборудования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. - 2013.- Т. 13, № 1. - С. 124-127.

5. С.Д. Штовба. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Сведения об авторах

Салимов Н.М. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Саидов М.А. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, ТТУ имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Азимов О.С. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, ТТУ имени М. С. Осими, г. Душанбе.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОМОК И ДЕФЕКТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТА МОЛОЙ ГЭС, РАБОТАЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНО СЕТЬЮ

Гуламов Ш.Р.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Аннотация: в работе представлено математическая модель для исследования поломок и дефектов механической части гидроагрегатов малой ГЭС, работающих параллельно сетью которая позволяет определит косвенным способом поломок и дефектов в механической части гидроагрегата.

Ключевые слова: гидротурбина, синхронный генератор, контроль электрических и механических параметров, функциональная схема, система защиты.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR RESEARCH AND DETERMINATION OF FAILURES AND DEFECTS IN THE MECHANICAL PART OF THE HYDRAULIC UNIT OF MOLAY HPP, OPERATING IN PARALLEL TO THE NETWORK

Annotation: the work presents a mathematical model for studying breakdowns and defects in the mechanical part of hydraulic units of a small hydroelectric power station, operating in parallel with a network that makes it possible to indirectly determine breakdowns and defects in the mechanical part of a hydraulic unit.

Keywords: hydraulic turbine, synchronous generator, control of electrical and mechanical parameters, functional diagram, protection system.

Одним из направлений развития альтернативной электроэнергетики является использование одиночных установок для преобразования гидравлической энергии в электрическую. Основными причинами использования таких гидроагрегатов являются: отсутствие традиционных электрических сетей в удалённых и труднодоступных районах местности, надёжность электроснабжения в случаях протяженных сетей малой мощности, рост тарифов на электроэнергию.

Подобные одиночные гидроагрегаты после монтажа и запуска в работу, как правило, постоянно не наблюдаются и не обслуживаются квалифицированным персоналом. При этом сами установки являются достаточно сложными электротехническими комплексами, включающими в себя гидравлические и сопряженные с ними электрические машины [1].

Известно, что для контроля защиты от аварийных режимов механической части электротехнического комплекса, имеющего в своем составе электрическую машину, можно использовать косвенные методы, основанные на измерении электрических параметров рассматриваемой электротехнической системы [2, 3].

Для разработки математической модели гидротурбины с напорным трубопроводом и синхронного генератора целью, моделирование работы гидроагрегата в аварийных режимах автором предлагается следующие допущения [4, 5]:

- КПД системы для всего диапазона регулирования принят постоянной;
- абсолютная жесткая стенка водовода;
- вода не сжимается;
- магнитная проницаемость сердечников статора и ротора машины принимается равной бесконечности, что позволяет использовать принцип наложения при определении результирующего магнитного поля в зазоре;
- не учитывается явление вытеснения тока в обмотках статора и индуктора;
- распределение магнитных индукции и МДС обмоток статора и возбуждения вдоль окружности считается синусоидальным с пространственным полупериодом, равным полюсному делению;
- магнитопровод и обмотки машин симметричны, т. е. магнитопровод имеет одинаковые очертания на всех полюсных делениях, обмотки статора и возбуждения идентичны для всех полюсов машины, распределенные вдоль окружности ротора и демпферные обмотки могут быть представлены сосредоточенными короткозамкнутыми контурами в продольной и поперечной осях ротора;
- трехфазная якорная обмотка машины принимается полностью симметричной;

Полное математическое описание гидротурбины с напорным трубопроводом и синхронного генератора с демпферными обмотками с достаточной точностью описывается следующей системой дифференциальных уравнений [4, 5] отличается тем что в уравнении движения электропривода учитывается момент связанной с механическими поломками или попадания инородного тела в гидротурбину. Первые пять уравнения описывают гидротурбину с напорным водоводом. Уравнения 8 – 13 описывают синхронный генератор. Четырнадцатое уравнение описывает механическую часть гидроагрегата. Пятнадцатое уравнение описывает равновесия электромагнитного момента синхронного генератора.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_T = 9,81HQ\eta_T; \\ H = H_H + \Delta H - h_{\text{пот}}; \\ \Delta H = -\frac{L}{gS} \frac{dQ}{dt}; \\ h_{\text{пот}} = Ak_1LQ^2; \\ \mu = \mu_{\text{на}} - \mu_{\text{цен}}; \\ \mu_{\text{цен}} = k_{\text{цен}}\omega; \\ k_{\text{цен}} = \frac{\Delta Q}{Q_H\omega_H}; \\ -U_a = r_1i_a + \frac{d\psi_a}{dt}; \\ -U_b = r_1i_b + \frac{d\psi_b}{dt}; \\ -U_c = r_1i_c + \frac{d\psi_c}{dt}; \\ U_f = \frac{d\psi_f}{dt} + r_fi_f; \\ 0 = \frac{d\psi_{kd}}{dt} + r_{kd}i_{kd}; \\ 0 = \frac{d\psi_{kq}}{dt} + r_{kq}i_{kq}; \\ J \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_{\text{э}} - \Delta M; \\ M_{\text{э}} = \frac{3}{2}(\psi_d i_q - \psi_q i_d), \end{array} \right. \quad (1)$$

где: P_T – мощность гидротурбины; H – напор воды в гидротурбине; Q – расхода воды проходящей через гидротурбину; η_T – КПД гидротурбины; $H_H = const$ – номинальный напор водонапорного трубопровода малого ГЭС; $h_{\text{пот}}$ – потери напора водонапорном трубопроводе; ΔH – гидравлический удар (ударное давление), представляет собой динамическое повышение или понижение давления, в напорном трубопроводе вызываемое действием инерционных сил возникающих при переходных режимах работы гидротурбины; L – длина трубопровода; S – поперечное сечение водонапорного трубопровода; g – скорость свободного падения; A – удельное сопротивление для стальных труб; k_1 – поправочный коэффициент удельного сопротивления для стальных труб; μ – гидравлическое сопротивление гидротурбины; $\mu_{\text{на}}$ – гидравлическое сопротивление, зависит от открытия задвижки водонапорного трубопровода; $\mu_{\text{цен}}$ – гидравлическое сопротивление, обусловленное действием центробежной силы; $k_{\text{цен}}$ – коэффициент расхода воды через гидротурбину; ω_H – угловая скорость вращения гидроагрегата; U_a, U_b, U_c – вырабатываемые напряжения на зажимах статора СГ; ψ_a, ψ_b, ψ_c – потокосцепления обмотки статора; i_a, i_b, i_c – токи обмотки статора; r_l – активное сопротивление обмотки статора; r_f – активное сопротивление обмотки возбуждения; U_f – напряжение

на зажимах обмотки возбуждения; i_f, ψ_f – ток и потокосцепление обмотки возбуждения; ψ_{kd}, ψ_{kq} – потокосцепление демпферной обмотки по продольной и поперечной осям; r_{kd}, r_{kq} – активное сопротивление демпферной обмотки по продольной и поперечной осям; i_{kd}, i_{kq} – токи демпферной обмотки по продольной и поперечной осям; J – момент инерции вращающихся частей гидроагрегата; M_T – момент создаваемый гидротурбиной при прохождении воды через агрегат; M_e – электромагнитный момент синхронного генератора; ΔM – момент создаваемый механическим поломкой на валу гидроагрегата; ω – скорость вращения ротора гидроагрегата.

На основании системы дифференциальных уравнений (1) составлена структурная схема математической модели гидроагрегата малого ГЭС работающего параллельно сети в момент возникновения механической поломки, рисунок 1.

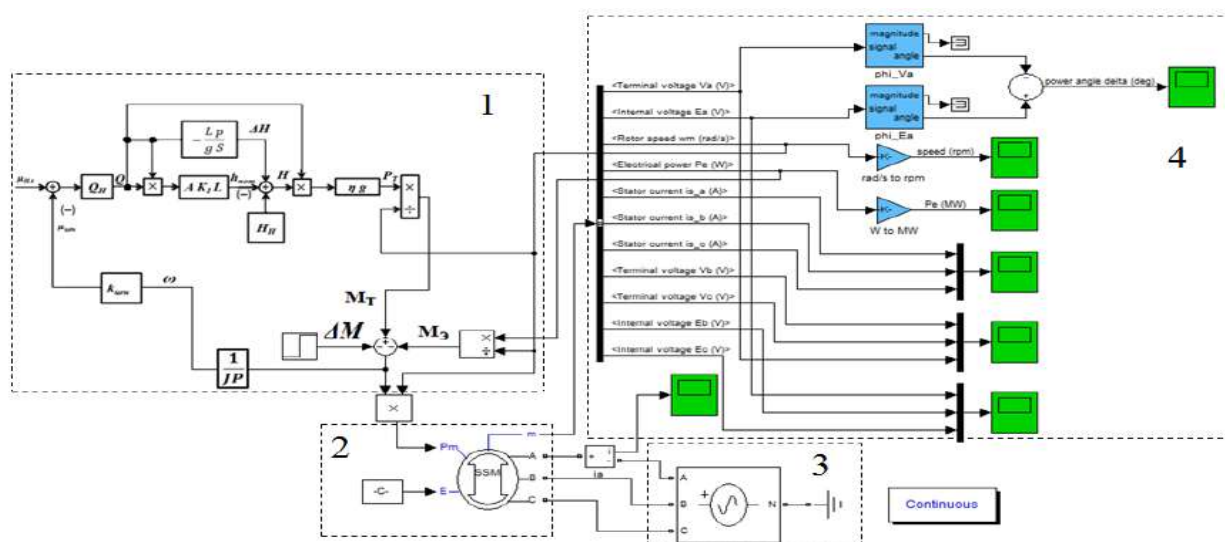


Рис. 1. Структурная схема математической модели гидроагрегата малого ГЭС работающего параллельно сети

Графики переходных процессов приведены на рисунках 2 – 5.

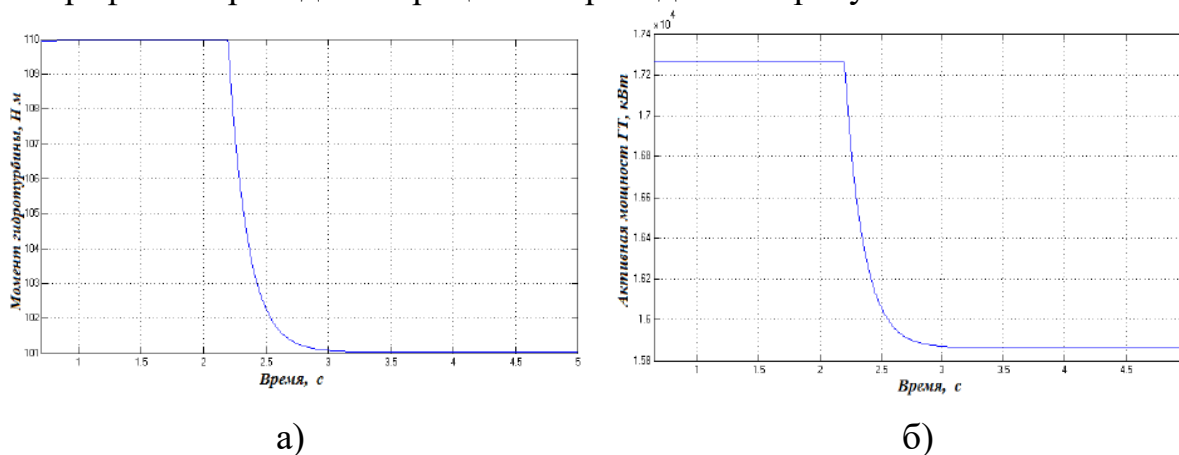


Рис. 2. Графики переходных процессов изменения момента гидротурбины (а) и активной мощности на валу гидротурбины (б)

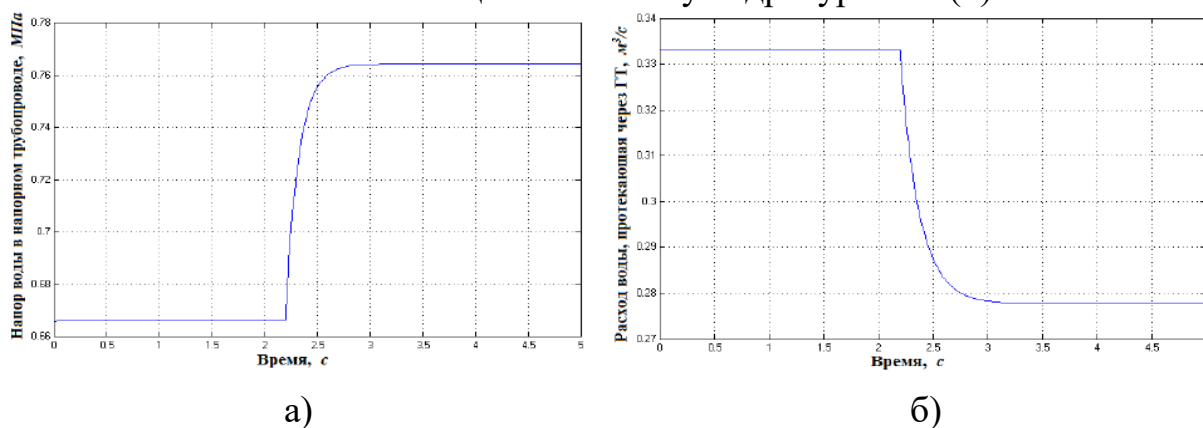


Рис. 3. Графики переходных процессов изменения напора воды в напорном трубопроводе (а) и расхода воды протекающей через гидротурбины (б)

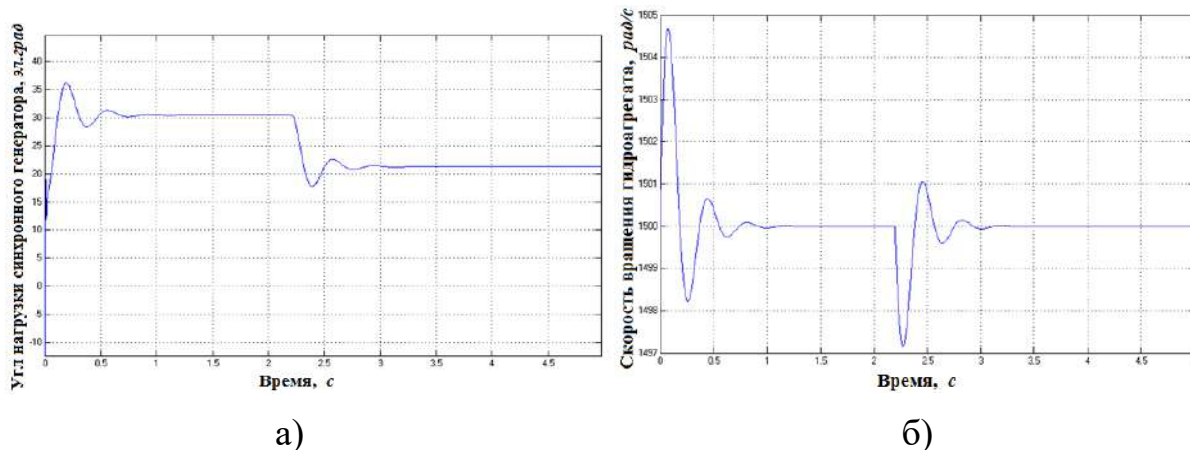


Рис. 4. Графики переходных процессов изменения и угла нагрузки синхронного генератора (а) и скорости вращения гидроагрегата (б)

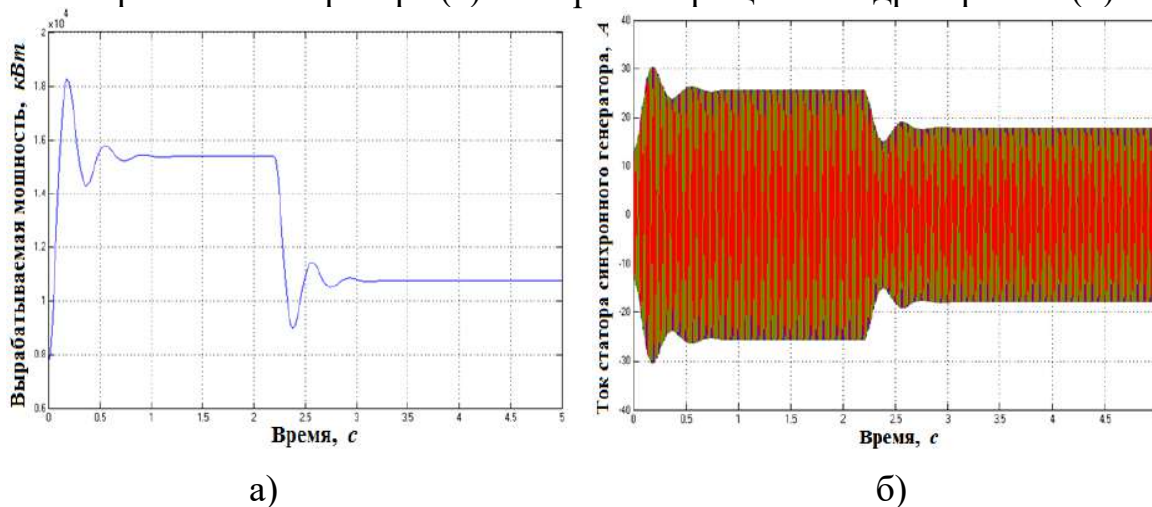


Рис. 5. Графики переходных процессов изменения вырабатываемой мощности (а) и трехфазного тока статора синхронного генератора (б)

Из переходных процессов связанной с механическими поломками в случаи момент сопротивления создаваемой поломкой имеющее постоянное значение (рисунки 2 – 5) следует, что в момент возникновения механической поломки или попадания инородного тела в гидротурбину уменьшается передаваемый момент гидротурбины к синхронному генератору M_T , уменьшается активная мощность гидротурбины $P_{ГТ}$, уменьшается расход воды протекающего через гидротурбину Q , увеличивается напор воды в трубопроводе H , уменьшается угол нагрузки синхронного генератора θ , уменьшаются вырабатываемая мощность $P_{СГ}$ и ток I синхронного генератора. Выше приведенные изменение напишем виде равенства:

$$\Delta M \uparrow = \begin{cases} M_T < M_{уТ} \\ P_T < P_{уТ} \\ Q < Q_y \\ H > H_y \\ \theta < \theta_y \\ P_{СГ} < P_{уСГ} \\ I < I_y \end{cases} \quad (2)$$

где $M_{уТ}$ – установившейся значения момента гидротурбины; $P_{уТ}$ – установившийся значения мощности гидротурбины; Q_y – установившийся значения расход воды протекающего через гидротурбину; H_y – установившийся значения напора в напорном водоводе; $P_{уСГ}$ – установившийся значения мощности синхронного генератора; I_y – установившийся значения тока статора синхронного генератора.

Из графиков переходных процессов (рис. 2 – 5) и равенства 2 видно, что происходящие изменения параметров гидроагрегата можно фиксировать схемами контроля гидроагрегата и использовать для разработки новых систем защит гидроагрегатов от механических поломок или попадания инородного тела в гидротурбину.

Заключение

Предложенный метод косвенного определения неисправностей механической части гидрогенератора путем контроля электрических, механических и гидравлических параметров гидроагрегата позволит уменьшить последствия механических поломок на ранних стадиях, которая позволит уменьшит последствия механических поломок. Разработанная математическая модель турбины и синхронного генератора, работающего параллельно сетью, и полученные графики переходных процессов гидроагрегата в момент возникновения поломок и дефектов механической

части позволять изучать возникновении механических поломок в механической части гидротурбины. На основании изменения параметров гидроагрегата в момент возникновении механических поломок позволят зафиксировать возникновении механических поломок.

Литература

1. Кипервассер М.В., Гуламов Ш.Р. Разработка системы защиты гидроагрегатов, работающих на автономную нагрузку, от механических поломок // Вестник Чувашского университета. 2016 г. – №3 (142). – с. 68-75.

2. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Инжелевская О.В. Распознавание аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока. / Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011 г. №6 – С. 42-45.

3. Кипервассер М.В. Методика автоматического распознавания аварийных ситуации механического оборудования, сопряженного с электрической машиной. / Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Сборник научных трудов Четвертой Всероссийской научно-практической конференции, г. Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2010 г. – С. 245-247.

4. Асарин А. Е., Бестужева К. Н. Водозенергетические расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 224 с.

5. Осин И.Л. Шакарян Ю.Г. Электрические машины: Синхронные машины: Учебное пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.: ил.

6. Пат. 2566613 РФ. (51) МПК F03B 15/00 (2006.01), H02H 7/00 (2006.01). Устройство защиты гидротурбины от выхода из строя опорного подшипника / Пугачев Е.В. Кипервассер М.В. Гуламов Ш.Р.; патентообладатель Сибирский гос. индустриальный ун-т. № 201450744/06(081372); заявл. 15.12.2014; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 30.

Сведения об авторе:

Гуламов Ш.Р. – к.т.н., ассистент кафедры «АЭП и ЭМ», ТТУ имени академика М.С. Осими.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГИДРОГЕНЕРАТОРА МАЛЫХ ГЭС

Сафаров М.И., Вайсиддинов Д.Т., Саидов М.А., Раджабеков М.Х.

Научный руководитель – к.т.н. Хасанзода Н.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: nasrullo-5445@mail.ru

***Аннотация.** Предложен метод косвенного определения неисправностей механической части гидрогенератора путем контроля электрических, механических и гидравлических параметров гидроагрегата. Разработана математическая модель турбины и синхронного генератора, работающего параллельно с сетью. Предложена система защиты гидроагрегата от поломок и дефектов механической части.*

***Ключевые слова:** гидротурбина, синхронный генератор, контроль электрических и механических параметров, система защиты.*

IDENTIFICATION OF MECHANICAL PART OF HYDRO GENERATORS OF SMALL HYDRO POWER PLANTS

***Annotation.** A method of indirect determination of faults in the mechanical part of a hydraulic generator by controlling electrical, mechanical and hydraulic parameters of the hydraulic unit is proposed. A mathematical model of turbine and synchronous generator working in parallel with the network is developed. The system of protection of the hydraulic unit from breakdowns and defects of the mechanical part is proposed.*

***Key words:** hydraulic turbine, synchronous generator, control of electrical and mechanical parameters, protection system.*

Одним из направлений развития альтернативной электроэнергетики является использование одиночных установок для преобразования гидравлической энергии в электрическую. Основными причинами использования таких гидроагрегатов являются: отсутствие традиционных электрических сетей в удалённых и труднодоступных районах местности, надёжность электроснабжения в случаях протяжённых сетей малой мощности, рост тарифов на электроэнергию.

Подобные одиночные гидроагрегаты после монтажа и запуска в работу, как правило, постоянно не наблюдаются и не обслуживаются квалифицированным персоналом. При этом сами установки являются достаточно сложными электротехническими комплексами, включающими в себя гидравлические и сопряжённые с ними электрические машины [1].

Известно, что для контроля защиты от аварийных режимов механической части электротехнического комплекса, имеющего в своем составе электрическую машину, можно использовать косвенные методы, основанные на измерении электрических параметров рассматриваемой электротехнической системы [2, 3].

Для разработки математической модели гидротурбины с напорным трубопроводом и синхронного генератора с целью моделирования работы гидроагрегата в аварийных режимах принимаются следующие допущения [4, 5]:

- КПД системы для всего диапазона регулирования принята постоянной;
- абсолютная жесткая стенка водовода;
- пренебрегается сжатием воды под действием высокого давления;
- магнитная проницаемость сердечников статора и ротора машины принимается равной бесконечности, что позволяет использовать принцип наложения при определении результирующего магнитного поля в зазоре;
- не учитывается явление вытеснения тока в обмотках статора и индуктора;
- распределение магнитных индукции и МДС обмоток статора и возбуждения вдоль окружности считается синусоидальным с пространственным полупериодом, равным полюсному делению;

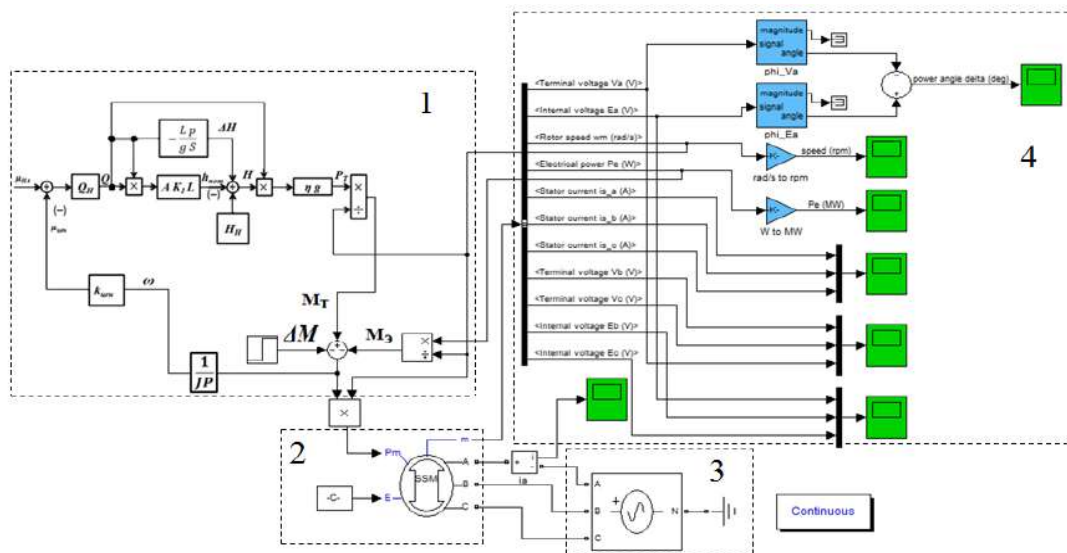


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели гидроагрегата малой ГЭС работающего параллельно с сетью: где 1- структурная схема системы автоматического регулирования гидрогенератора; 2 – имитационная модель исследуемого гидрогенератора; 3 – сеть с большой мощностью; 4 – инструменты измерения и идентификации параметров гидроагрегата.

- трехфазная якорная обмотка машины принимается симметричной;

На основании математической модели составлена имитационная модель гидроагрегата малой ГЭС работающего параллельно с сетью для исследования аварийного режима в момент возникновения механической поломки, рисунок 1.

- магнитопровод и обмотки машин симметричны, т. е. магнитопровод имеет одинаковые очертания на всех полюсных делениях, обмотки статора и возбуждения идентичны для всех полюсов машины, распределенные вдоль окружности ротора и демпферные обмотки могут быть представлены сосредоточенными короткозамкнутыми контурами в продольной и поперечной осях ротора;

Графики переходных процессов исследуемого гидроагрегата в момент попадания инородного тела в механической части гидротурбины приведены на рисунках 2 – 5.

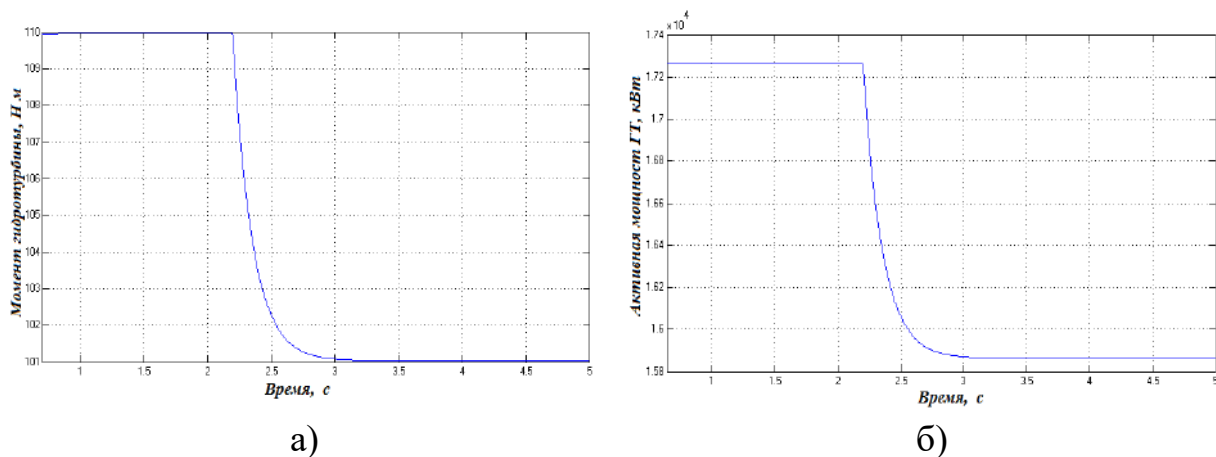


Рис. 2. Графики переходных процессов изменения момента гидротурбины (а) и активной мощности на валу гидротурбины (б)

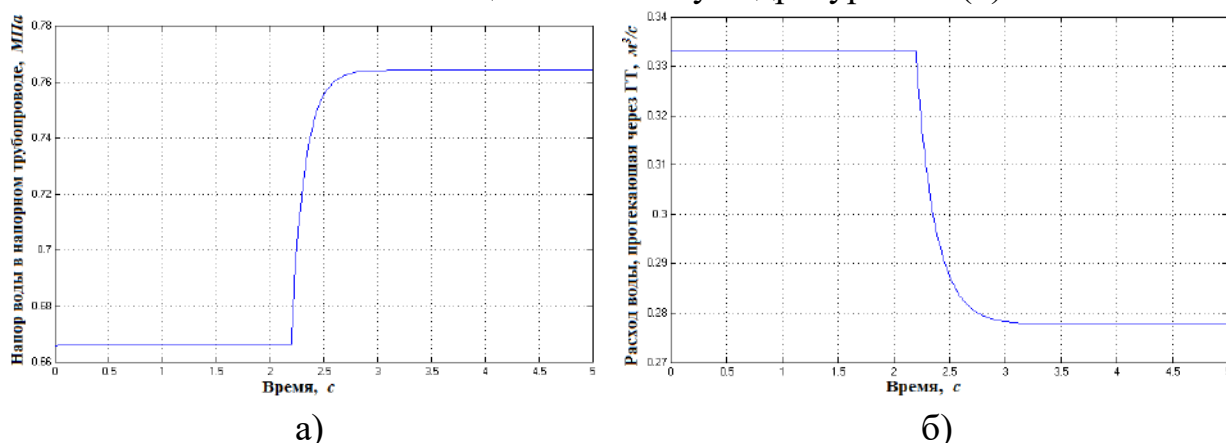


Рис. 3. Графики переходных процессов изменения напора воды в напорном трубопроводе (а) и расхода воды протекающей через гидротурбины (б)

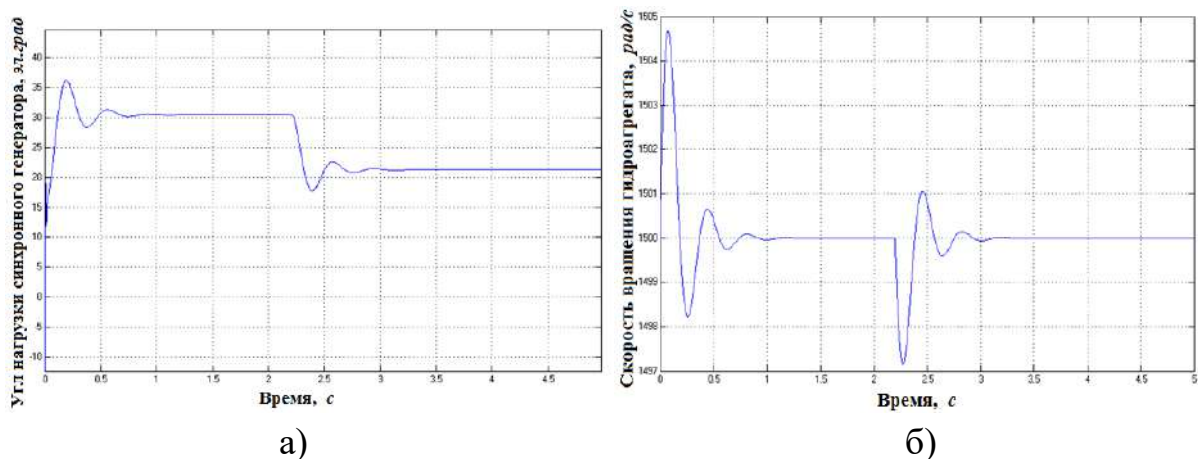


Рис. 4. Графики переходных процессов изменения угла нагрузки синхронного генератора (а) и скорости вращения гидроагрегата (б)

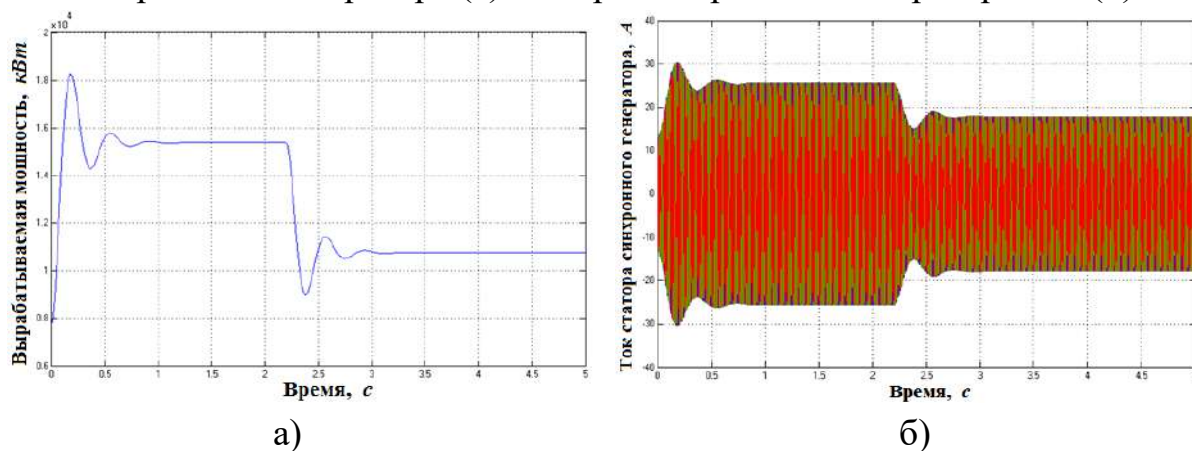


Рис. 5. Графики переходных процессов изменения вырабатываемой мощности (а) и трехфазного тока статора синхронного генератора (б)

Из приведенных рисунков переходных процессов следует, что в момент возникновения механической поломки или попадания инородного тела в гидротурбину уменьшается передаваемый момент гидротурбины к синхронному генератору M_T , уменьшается активная мощность гидротурбины $P_{ГТ}$, уменьшается расход воды протекающего через гидротурбину Q , увеличивается напор воды в трубопроводе H , уменьшается угол нагрузки синхронного генератора θ , уменьшаются вырабатываемая мощность $P_{СГ}$ и ток I синхронного генератора. Выше приведенные изменение можно представить в виде равенства:

$$\Delta M \uparrow = \begin{cases} M_T < M_{UT} \\ P_T < P_{UT} \\ Q < Q_y \\ H > H_y \\ \theta < \theta_y \\ P_{CG} < P_{UCG} \\ I < I_y \end{cases} \quad (1)$$

где M_{UT} – установившийся значение момента гидротурбины; P_{UT} – установившийся значение мощности гидротурбины; Q_y – установившийся значение расхода воды протекающего через гидротурбину; H_y – установившийся значение напора в напорном водоводе; P_{UCG} – установившийся значение мощности синхронного генератора; I_y – установившийся значение тока статора синхронного генератора.

Из графиков переходных процессов (рис. 2 – 5) и равенства (2) видно, что изменения параметров гидроагрегата можно фиксировать устройствами контроля гидроагрегата и использовать эти параметры для разработки новых систем защиты гидроагрегатов для предотвращения аварийных режимов при механических поломках или попадания инородного тела в гидротурбину.

Система защиты синхронного гидроагрегата от механических поломок или попадания инородного тела в гидротурбину, работающего параллельно сети, функционирует следующим образом.

Включение системы (условно принято с момента времени $t = 0$) происходит по сигналу (Пуск гидротурбины), поступающему с управляющего входа схемы управления гидротурбины. Сигнал управления подается с пульта управления оператором.

На рис. 5, а приведен график изменения угловой скорости вращения гидротурбины и синхронного генератора. Весь цикл работы состоит из четырех участков:

1. Первый участок (t_0 до t_1) – участок разгона, где гидроагрегат движется с ускорением до момента t_1 набора номинальной скорости вращения гидроагрегата.
2. Второй участок (t_1 до t_2) – включение синхронного генератора параллельно с сетью и его загрузка до номинальной мощности.
3. Третий участок (от t_2 до t_3) – установившийся режим работы гидроагрегата.
4. Четвертый участок (от t_3 до t_4) – режим работы при возникновении механической поломки или попадании инородного тела в гидротурбину.

5. Пятый участок (от t_4 до t_5) – разгрузка синхронного генератора и отключение от сети.

6. Шестой участок (от t_5 до t_6) – остановка гидроагрегата.

Выходы датчиков токов давления и угла открытия задвижки являются информационными входами для системы защиты гидроагрегата, работающего параллельно с сетью при механических поломках и попадания инородного тела в гидротурбину.

Появление аварийного сигнала обеспечивается последовательным срабатыванием восьми блоков при контроле значений тока статора, угла открытия задвижки и давления в напорном трубопроводе, величины отклонения. При собственном времени срабатывания аналоговых блоков $5 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-5}$ с, полное время срабатывания устройств будет определяться в основном собственным временем срабатывания блока управления системами гидротурбины и синхронного генератора, составляющим 0,07-0,09 с, и временем срабатывания датчика давления. Время срабатывания датчика давления составляет 0,12-0,14 с, а полное время срабатывания устройства составит 0,19-0,23 с.

Выводы

Таким образом, предлагаемая система защиты синхронного гидроагрегата, работающего параллельно с сетью при механических поломках и попадания инородного тела в гидротурбину позволяет распознать аварийную ситуацию на ранних стадиях и увеличивает быстродействие срабатывания защиты, что позволит минимизировать последствия аварии.

Литература

1. Кипервассер М.В., Гуламов Ш.Р. Разработка системы защиты гидроагрегатов, работающих на автономную нагрузку, от механических поломок // Вестник Чувашского университета. 2016 г. – №3 (142). – с. 68-75.

2. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Инжелевская О.В. Распознавание аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока. / Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011 г. №6 – С. 42-45.

3. Кипервассер М.В. Методика автоматического распознавания аварийных ситуаций механического оборудования, сопряженного с электрической машиной. / Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Сборник научных трудов Четвертой

Всероссийской научно-практической конференции, г. Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2010 г. – С. 245-247.

4. Асарин А. Е., Бестужева К.Н. Водозащитные расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 224 с.

5. Осин И.Л. Шакарян Ю.Г. Электрические машины: Синхронные машины: Учебное пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.: ил.

6. Пат. 2566613 РФ. (51) МПК F03B 15/00 (2006.01), H02H 7/00 (2006.01). Устройство защиты гидротурбины от выхода из строя опорного подшипника / Пугачев Е.В. Кипервассер М.В. Гуламов Ш.Р.; патентообладатель Сибирский гос. индустриальный ун-т. № 201450744/06(081372); заявл. 15.12.2014; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 30.

Сведения об авторах:

Сафаров Манучехр Исуфович – 1992 г.р.,– ст. препод. кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины», ТГУ им. акад. М.С. Осими. E-mail: manu_1804@mail.ru

Вайсиддинов Далер Тоджиддинович – 2000 г.р., магистрант кафедры «Электрические станции», ТГУ им. акад. М.С. Осими.

Саидов Мехрочиддин Абдугафорович – 2000 г.р., магистрант кафедры «Электрические станции», ТГУ им. акад. М.С. Осими.

Раджабеков Мародасен Худойназарович 2001 г.р., магистрант кафедры «Электрические станции», ТГУ им. акад. М.С. Осими.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТИКАЛЬНО ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ КАРУСЕЛЬНОГО ТИПА

Шарипов Ф. С.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: firdavs_sharipov_2019@mail.ru

Аннотация: *Методом статистического анализа произведен сравнительный анализ серийно выпускаемых ветровых установок разных производителей в пределах рабочего диапазона скоростей ветрового потока. Во всем диапазоне рабочих скоростей ветра коэффициент вариации среднеарифметического значения мощности ВЭУ не превышает 15% показывающий однородность полученных характеристик, и надежность их среднего значения для каждой скорости ветра из рабочего диапазона.*

Ключевые слова: *ветроэнергетическая установка, рабочие характеристики, ветровой поток, энергия, мощность.*

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF A VERTICALLY AXIAL WIND POWER INSTALLATION OF THE CARUSEL TYPE

Annotation: *Using the method of statistical analysis, a comparative analysis of commercially produced wind turbines from different manufacturers was carried out within the operating range of wind flow speeds. Over the entire range of operating wind speeds, the coefficient of variation of the arithmetic mean power value of the wind turbine does not exceed 15%, indicating the uniformity of the obtained characteristics and the reliability of their average value for each wind speed from the operating range.*

Key words: *wind power plant, performance characteristics, wind flow, energy, power.*

Связи с стохастический изменяющийся скорости ветра рабочие (энергетические) характеристики ветроэнергетической установки (ВЭУ) во времени также будет переменным. Известно, что вырабатываемая ВЭУ мощность пропорциональна кубу скорости ветра, и, так как в результате изменения выработки энергии ВЭУ нарушается баланс энергосистемы, в которой подключен. Поэтому при выборе архитектуры энергетической системы для электроснабжения потребителей, где основным источником является ВЭУ выбор количество и мощность зависит от рабочих характеристик установки. Особенно остро данная проблема стоит в автономных системах, где источником

энергии являются только ВЭУ, и источники других видов не могут скомпенсировать изменение энергетического баланса.

В данной работе рассматриваются вопросы определения рабочих характеристик вертикально – осевой ветроэнергетической установки (ВО ВЭУ). В качестве рабочей характеристики рассматривается производительность ВЭУ в диапазоне рабочих скоростей ветрового потока (от 0м/с до 25м/с). Для исследования рабочих характеристик применяется математическое моделирование, получившее в последнее время широкое распространение для изучения работы установок возобновляемой энергетики.

Мощность, развиваемую ветродвигателем при заданных параметрах ветроколеса и в зависимости от изменения скорости ветрового потока, определяют согласно выражения:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3 C_p(\xi) 10^{-3}, \quad (1)$$

где P_{wind} – мощность развиваемая ветродвигателем, кВт;

R – радиус ветроколеса, м;

ρ – плотность воздуха, кг/м³ (принимается в расчета при нормальных условиях $\rho=1,225$ кг/м³);

V – скорость ветрового потока, м/с;

$C_p(\xi)$ – КИЭВ (коэффициент использования энергия ветра)

Математически мощность ветротурбины с вертикальной осью вращения определяется по выражению:

$$P = \frac{1}{2} \rho V_0^3 2Rh C_p(\xi) 10^{-3} \quad (2)$$

где R – радиус ветроколеса ВЭУ, м;

h - высота ветроколеса ВЭУ, м.

В настоящее время существуют несколько вариантов вертикально осевых конструкций ВЭУ многолопастного типа (карусельный тип является одной из его разновидностью), главным отличительным признаком которых является наличие внешнего контура направляющих лопастей, одновременно выполняющие роль защитного кожуха [1 - 5]. Наиболее известными являются конструкции, разработанные Е.И. Кончаковым [3] и С.В. Грибковым [4], а также конструкция предложенное [5].

С целью проведения анализа производительностью ВЭУ методом статистического анализа будем рассмотреть параметры 15 серийно выпускающихся ветроустановок для построения среднестатистической энергетической характеристики малой ВЭУ (мощностью до 10 кВт). Для которых в качестве системы регулирования мощности и частоты вращения используется балластная нагрузка. На рисунке 2 приведены зависимости

развиваемой мощности в о.е. от скорости ветра рассматриваемых ВЭУ, а также среднеарифметические значения их мощностей (черная линия на графиках). При этом все данные были разделены на два диапазона относительно расчетной скорости ветра $V_{расч}$ (см. табл. 1).

Таблица 1 – Паспортные данные серийно выпускаемых ВЭУ малой мощности

№ п/п	Наименование модели	Страна производитель	Мощность кВт	Диаметр м	Высота м	Ометаемая м ²	Δh	Скорость вращения, п/мин	Скорость ветра, м/с			
									V_{min}	$V_{расч}$	V_{max}	$V_{бур}$
1	Вертикально-осевой ветрогенератор «Sokol Air Vertical»	Р	5	4	4,5	18	0,6	80/155	2	7,5	35	45
2	Ветрогенератор «Falcon Euro»	Р	10	4	5	20	0,6	95/180	2,5	12	20	35
3	ГЕН.reef ГЕН.V 1	К	1	1,4	2	2,8	0,7	150	2,8	11	25	50
4	ГЕН.reef ГЕН.V-500W	К	0,5	1,3	1,5	1,95	0,6	200	1	10	25	50
5	Даген.ap power ДГЕН.- Н - 1	К	1	2,2	2,4	5,28	0,5	н/д	2	12	35	50
6	Даген.ap power ДГЕН.- Н - 3	К	3	2,85	3,5	9,975	0,6	н/д	2	12	35	50
7	Даген.ap power	К	5	3,6	4,5	16,2	0,6	н/д	2	12	35	50

	ДГЕН.- Н - 5											
8	Даген.an power ДГЕН.- Н - 10	К	10	5,8	8	46,4	0,7	н/д	2	12	35	50
9	ООО Сальмаба ш ОСА 300-12	Р	0,3	1,2	1,6	1,92	0,7	120	5	8	45	45
10	ООО Сальмаба ш ОСА 1000-12	Р	1	3	2	6	0,3	200	3	8	40	45
11	ООО Сальмаба ш ОСА 3000-12	Р	3	3,8	4	15,2	0,5	160	3	8	40	45
12	МАГЕН.L EV 700- 3000Вт	Т	3	3,6	4,2	15,12	0,6	150	3,5	13	15	60
13	Aeolos-V 1	Д	1	2	2,8	5,6	0,7	300	1,5	10	30	50
14	Aeolos-V 3	Д	3	3	3,6	10,8	0,6	260	1,5	10	40	50
15	Aeolos-V 10	Д	10	3	3,6	10,8	0,6	260	1,5	10	50	50
Примечание: Страна производитель: Р - Россия; Д - Дания; К – Китай; Т – Тайвань												

Пользуясь, данные приведенных в таблице 1 построим энергетические характеристики малых ВЭУ где регулирование мощности происходит за счет включения балластной нагрузки параллельно сети. Отметим, что результаты энергетических характеристик ВО ВЭУ получены в о.е.

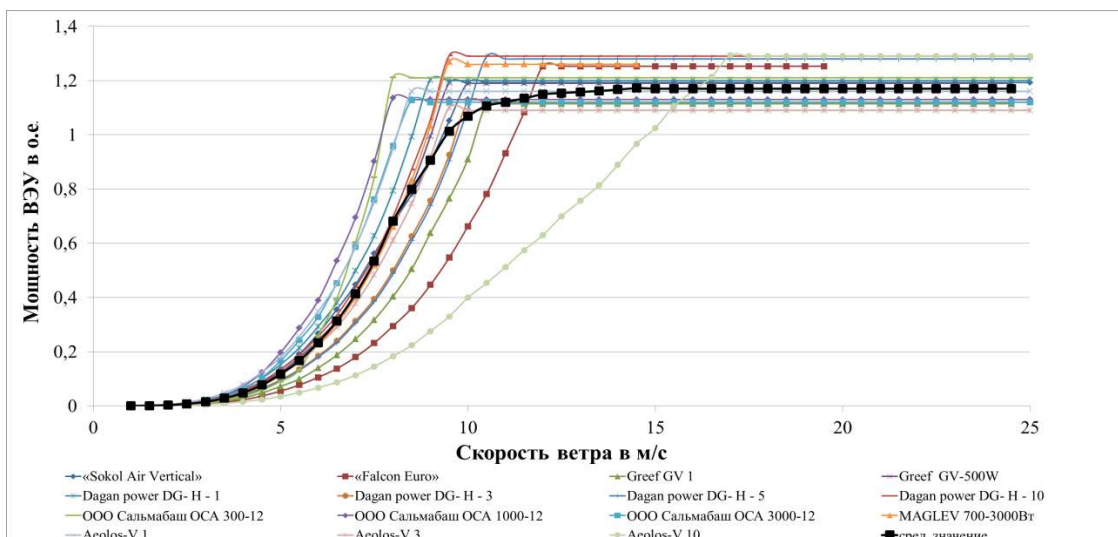


Рисунок 2 – Энергетические характеристики малых ВО ВЭУ

При анализе полученных энергетических характеристик в о.е., по формулам (3) и (4) можем определить значения стандартного отклонения σ и коэффициента вариации ν среднеарифметического значения мощности рассматриваемых ВЭУ для каждой скорости ветра из рабочего диапазона ВЭУ с шагом 1 м/с. Результаты расчетов приведены в таблицу 1.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i^* - P_{cp}^*)^2}{n}} \quad (3)$$

где P_i^* — мощность i -той из рассматриваемых в ходе проведения анализа ВЭУ в о.е. (см. таблицу 2) при заданной скорости ветра из рабочего диапазона; P_{cp}^* — среднеарифметическое значение мощности в о.е. всех рассматриваемых ВЭУ при заданной скорости ветра; n — количество рассматриваемых рабочих характеристик ВЭУ при заданной скорости ветра.

$$\nu = \frac{\sigma}{P_{cp}^*} \cdot 100\% \quad (4)$$

Таблица 2- Стандартное отклонение и коэффициент вариации

Скорость ветра ϑ , м/с.	Стандартное отклонение σ , о.е.	Коэффициент вариации ν , %	Скорость ветра ϑ , м/с.	Стандартное отклонение σ , о.е.	Коэффициент вариации ν , %
2	0,0003	10,1	15	0,08	6,8
3	0,0001	9,4	16	0,079	6,7
4	0,004	9,3	17	0,079	6,8
5	0,01	9,6	18	0,7	6,8
6	0,02	9,4	19	0,07	6,8
7	0,04	9,9	20	0,11	9,5
8	0,073	10,7	21	0,11	9,5

9	0,07	7,7	22	0,11	9,5
10	0,59	5,6	23	0,11	9,5
11	0,047	4,2	24	0,11	9,5
12	0,039	3,4	25	0,13	15,6
13	0,031	2,7			
14	0,024	2,1			

Заключение

По результатам проведенного анализа во всем диапазоне рабочих скоростей ветра коэффициент вариации среднеарифметического значения мощности ВЭУ не превышает 15%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что совокупность представленных на рисунке 2. энергетических характеристик рассматриваемых ВЭУ является однородной, их средние значения для каждой скорости ветра из рабочего диапазона — надежными.

Литература

1. Pope K. et al. Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis ВЭУ turbine //Renewable Energy. – 2010. – Т. 35. – №. 5. – С. 1043-1051.

2. Соломин Е. В. Методологические основы разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок для агропромышленного комплекса России: автореферат дис. – Алтайский гос. техн. универ. 2013. Электронный ресурс: <http://www.altstu.ru/media/f/2013-02-15-AvtoreferatSolomin-EV.pdf>, 2013.

3. Пат. 2484297 Российская Федерация, МПК F03D3/04. Ветроэнергетическая установка [Текст]. / Е.И. Кончаков, Н.С. Дружинин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО ДВФУ. - № 3 2012113011/06, заявл 03.04.2012, опубл. 10.06.2013.

4. Грибков С. В., Павлихин Д. С. Оптимизация вертикально-осевых ветротурбинных установок с направляющим аппаратом //Техника и оборудование для села. – 2014. – №. 10. – С. 40-45

5. Пат. 184213 Российская Федерация. МПК F03D 3/04(2018.05) Ветроэнергетическая установка/ Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов, А.В. Таскин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2018114126 от 18.04.2018г. Бюл. №29 опубл. 18.10.2018г.

Сведения об авторах:

Шарипов Ф.С. – магистрант 1-го курса, группы 430101 кафедры «ЭС», ТТУ имени академика М.С. Осими.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

*Шарипов Ф.К., Сайфуллоева О.М., Сабуров Ш.М.
Научный руководитель Диёрзода Р.Х.,*

***Аннотация.** Был произведен обзор и анализ ветроэнергетического потенциала районов республиканского подчинения и Хатлонской области. На основе полученных материалов предложена наиболее подходящая ветротурбина.*

Ключевые слова: ветроэнергетический потенциал, ветроустановка, возобновляемые источники энергии, скорость ветра, ветротурбина.

WIND ENERGY POTENTIAL OF THE SOUTH-WESTERN PART OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

***Annotation.** A review and analysis of the wind energy potential of the regions of republican subordination and the Khatlon region was carried out. Based on the obtained materials, the most suitable wind turbine is proposed.*

Key words: wind energy potential, wind turbine, renewable energy sources, wind speed, wind turbine.

Мир не стоит на месте и постоянно развивается большими темпами. За последние два года наш мир столкнулся с глобальными проблемами, которые объединили все государства для устранения их.

Первая и не последняя пандемия COVID – 19 которая выявила множество проблем в мировой экономике, с последствиями которой мы будем встречаться в ближайшие десять лет.

После пандемии страны пытаются вернуться до пандемийного периода при этом сталкиваются основной проблемой энергетическим кризисом. После пандемии вырос спрос на нефти продукты, уголь и электричество, что привело к быстрому росту цен, т.к. данные ресурсы невозможно быстро восполнить.

С увеличением с проса на электроэнергию для восстановления экономики, прихода зимы и чрезвычайному большому расходу электроэнергии, что привело к энергокризису, руководство большинство стран пошли на радикальные меры, ввели веерное отключение электропотребителей.

Данная проблема подталкивает государства и ученое сообщество на изучение и разработку новых источников энергоресурсов.

Республика Таджикистан (РТ), как и большинство государств столкнулось дефицитом энергоресурсов.

Данная статья посвящена определению ветроэнергетического потенциала в юго-западной (в районах республиканского подчинения (РРП) и Хатлонской области (ХО)) части РТ и возможности установки крупных ветроэнергетических установок.

Данной работе проанализированы данные 32 населенных пунктов за последние 12 лет. Для пяти населенных пунктов приведены графики изменения скорости ветра за один год и двенадцать лет (Файзабад, Дангара, Масковский, Пяндж, Вахш (рисунки 1-10)) [1].

На рисунке 1-10 приведены графики трех цветов зелёный, голубой и черный.

Черным цветом показаны порывы ветра, голубым цветом максимальную скорость ветра и зеленым цветом средняя скорость ветра.

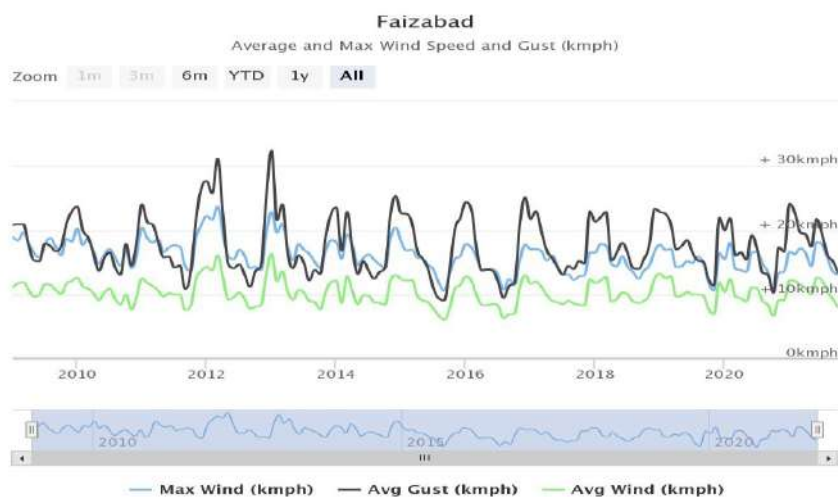


Рис. 1. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в Файзабадском районе.

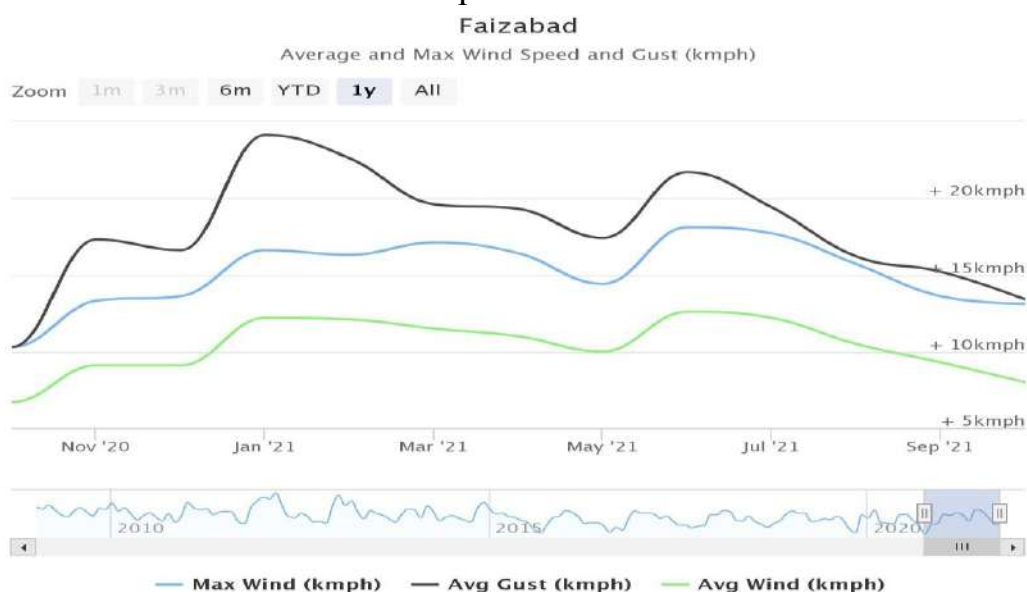


Рис. 2. График изменения скорости ветра за последний год в Файзабадском районе.

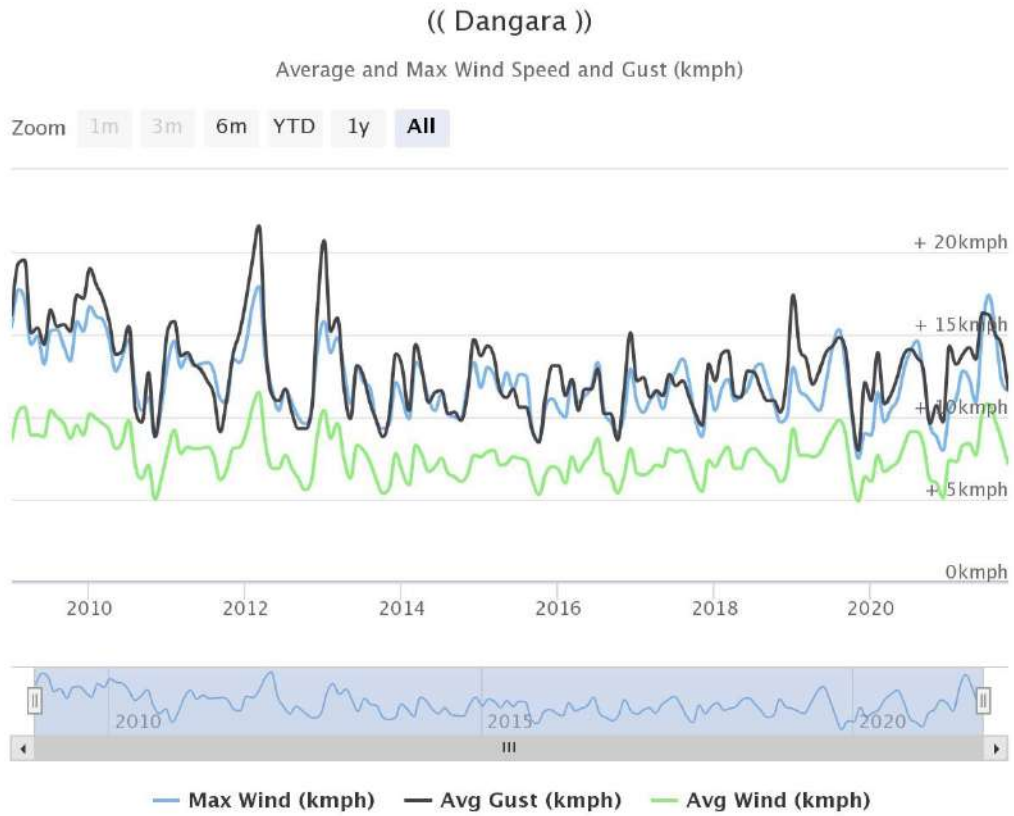


Рис. 3. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в г. Дангаре.

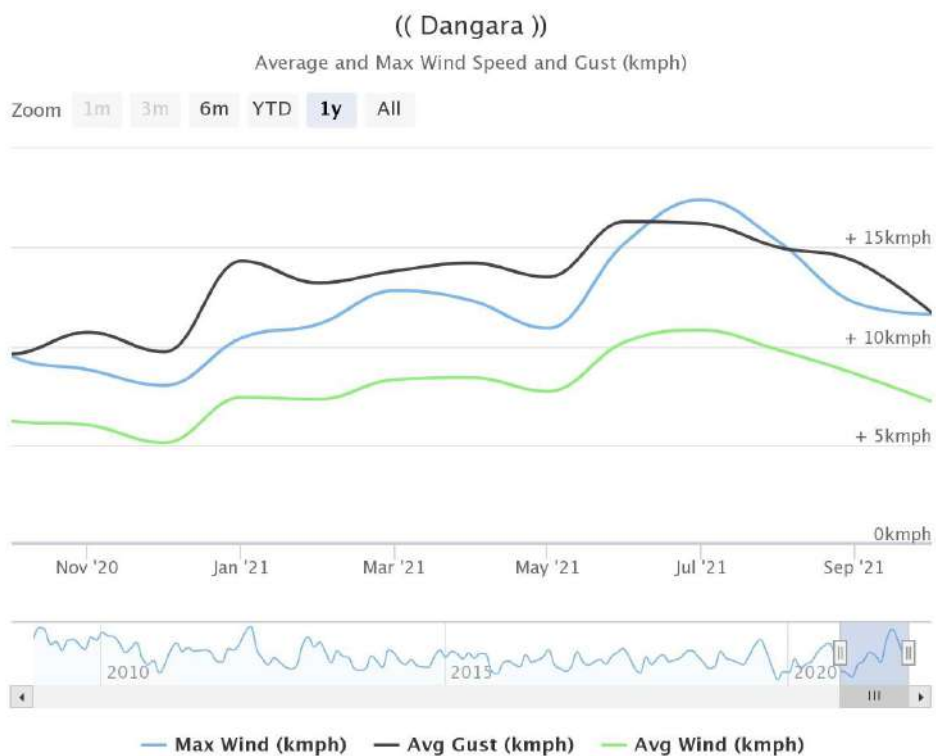


Рис. 4. График изменения скорости ветра за последний год в г. Дангаре.

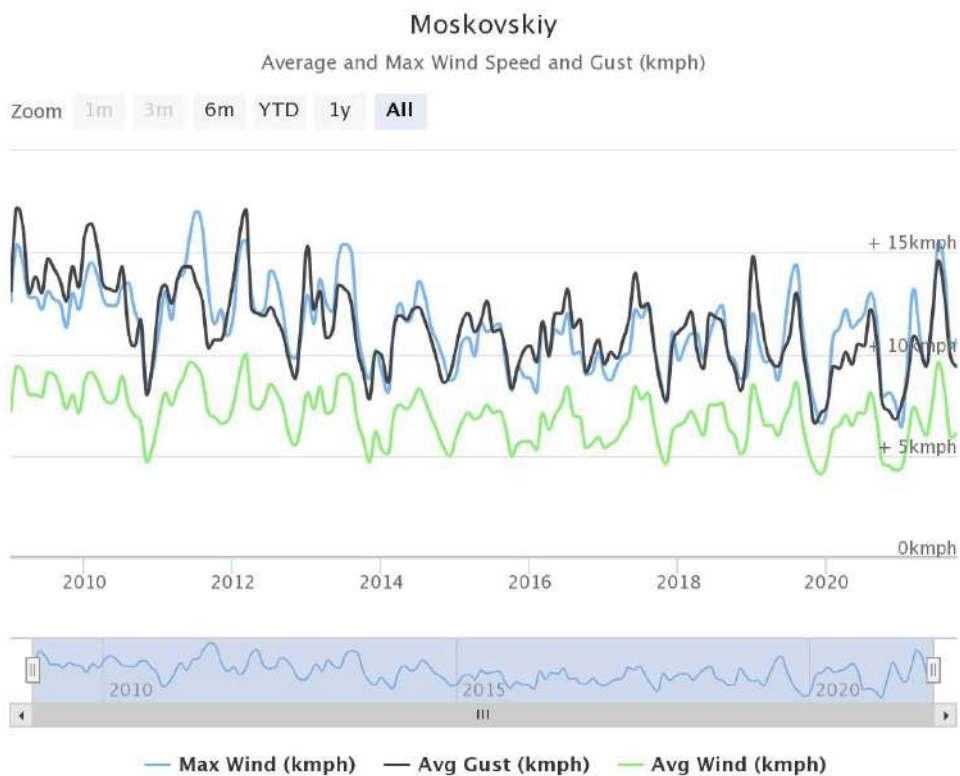


Рис. 5. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Масковский.

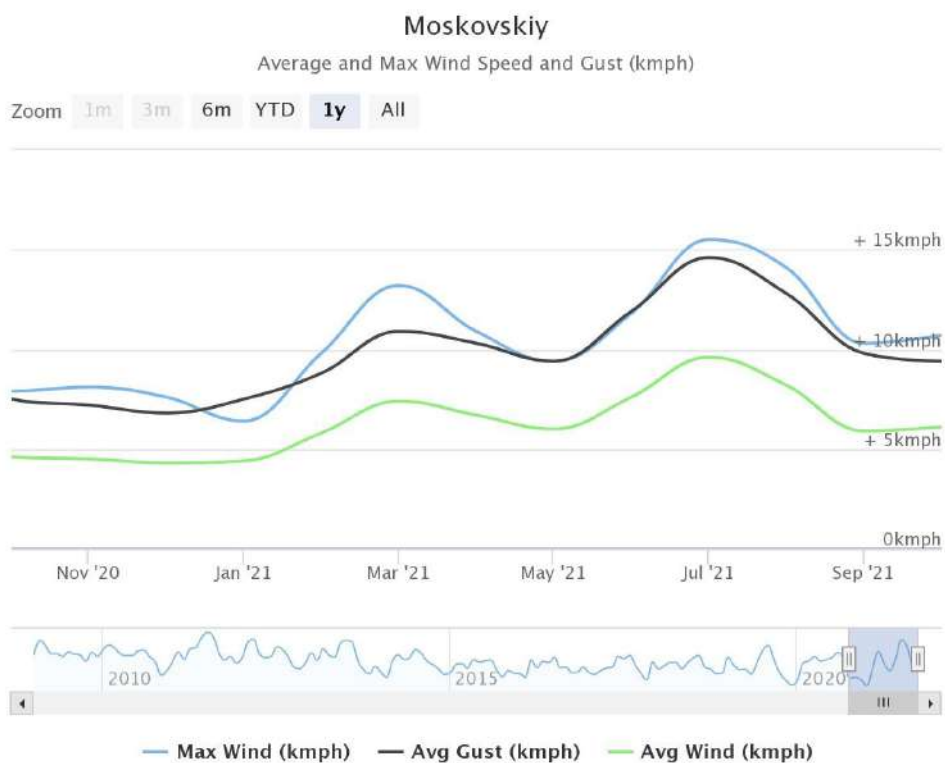


Рис. 6. График изменения скорости ветра за последний год в н.п. Масковский.

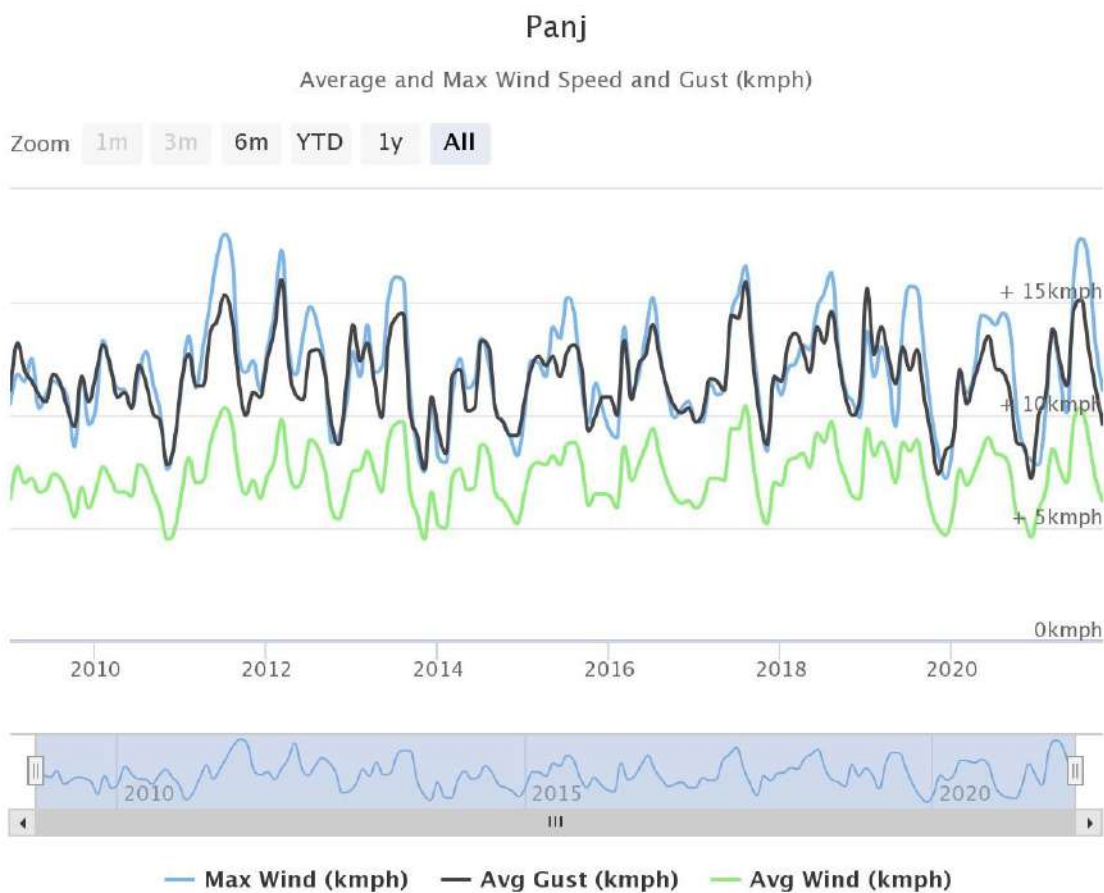


Рис. 7. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Пандж.

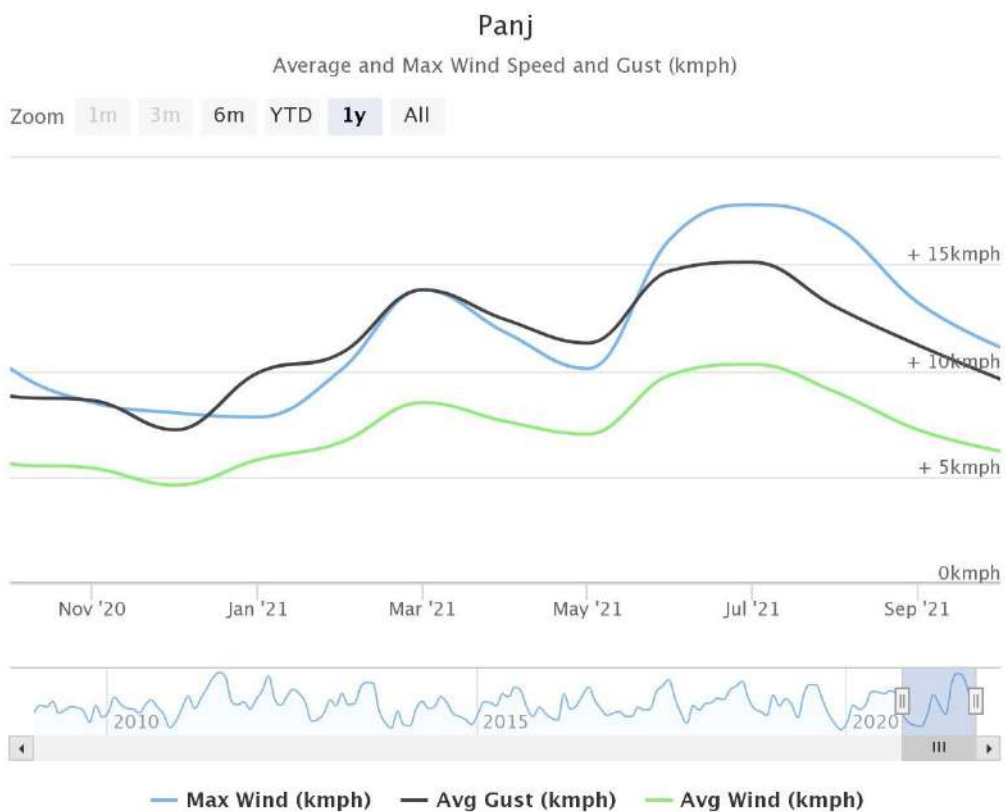


Рис. 8. График изменения скорости ветра за последний год в н.п. Пандж.

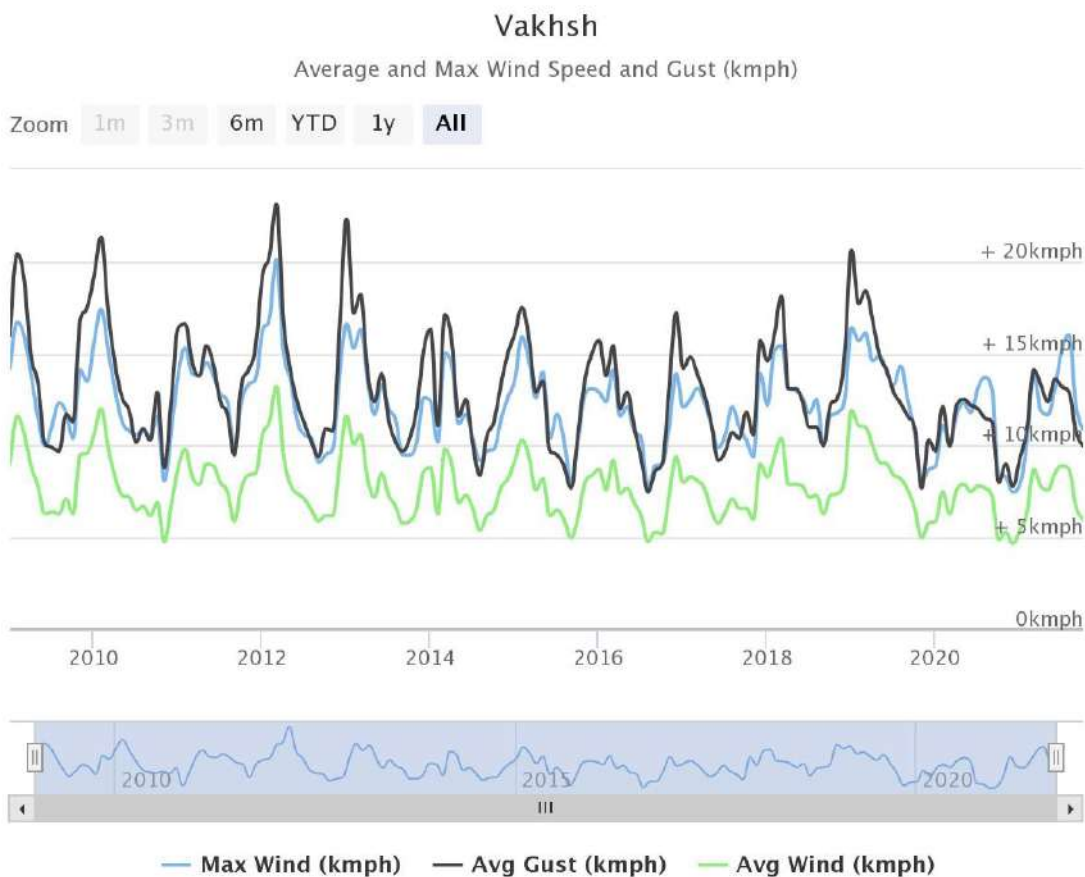


Рис. 9. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Вахш.

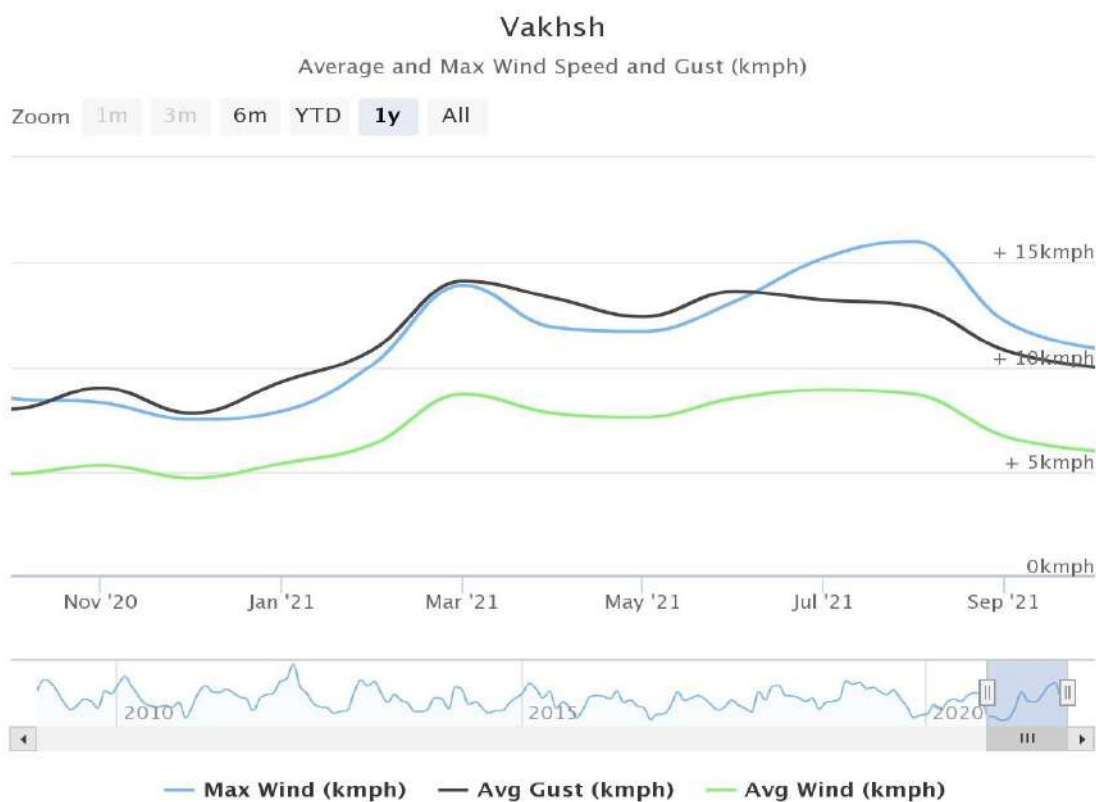


Рис. 10. График изменения скорости ветра за последний год в н.п. Вахш.

Таблица 1. Средняя скорость ветра в населенных пунктах районах республиканского подчинения и Хатлонской области.

№	Название населенного пункта	Средняя скорость ветра м/с		Название населенного пункта	Средняя скорость ветра м/с
1	село Бошкенгаш район Рудаки	1,94	17	Обигарм Рогунский район Таджикистана	2
2	Бустонкала район Кушониён, Хатлонская область	1,9	18	Орзу Хатлонская область Таджикистана	1,6
3	Гарм	1,9	19	Пандж	1,6
4	село Чорбог Варзобский район	2,7	20	Рогун	2,8
5	село Чубек район Мир Сайид Алии Хамадони	1,6	21	Шаартузский район Хатлонской области	2,8
6	Дангара Хатлонская область	1,66	22	Советский Темурмаликский район	1,9
7	Душанбе	1,94	23	Тартки (Пахтаобод) Шахритуский район, Хатлонская область	2,2
8	Навабад посёлок городского типа в Раштском районе	2	24	Тугалан Вахшский район	1,9
9	Нурек	2,7	25	Тугул Пянджского района Хатлонской области в таджикистане	1,9
10	Фархор	1,6	26	Тугалан Колхозабадский район Хатлонской области	1,94
11	Гисар	1,6	27	Вахш	1,9
12	Джиликуль район Дусти, Хатлонская область	2,6	28	Ёвон	1,6

13	посёлок Кировский район Кушониён, Хатлонская область	1,6	29	Куляб	2
14	Вахдат	1,6	30	Район Сомони	1,6
15	Района Джалолиддина Балхи Хатлонской области	1,6	31	Район Хамадони	2
16	Тухчи Нурабадский район, районы республиканского подчинения	1,9	32	Файзабадский район	2,8

Как видно из графиков приведенных для трех районов Республики Таджикистан, средняя скорость не превышает 2,6 м/с тоже самое наблюдается и для других районов приведенные в таблице 1, а максимальная скорость не превышает 4,2 м/с, кроме файзабадского района, для которого средняя скорость составляет 2,8 м/с, а средняя максимальная скорость составляет 5 м/с.

Теперь мы можем с уверенностью можно сказать, какие ветроэнергетические установки подходят, а какие нет [2,3,4].

Основным параметром региона для получения потенциальной энергии является скорость ветра.

Районы можно условно разбить на три, по среднегодовой скорости ветра:

- менее 2 м/с;
- от 2 до 5 м/с;
- более 5 м/с.

При этом нужно уточнить, что скорость ветра распределена не равномерно по всей территории Республики Таджикистан из-за её горно-равнинных участков и времени года. На рассматриваемых районах чаще всего средняя скорость ветра составляет 1-3 метра. Из полученных результатов анализа следует выбрать и рекомендовать ВЭУ, подходящую для данного региона.

Наиболее распространённые ВЭУ – лопастные агрегаты с горизонтальным расположением оси и в зависимости от скорости ветра разделяются на двух, трех и много лопастные турбины рисунок 11.

ВЭУ с тремя лопастями и горизонтальным расположением оси, которые наиболее распространены в мире при выработке номинальной мощности имеют рабочую скорость ветра в диапазоне от 8 до 15 м/с, при этом стартовая скорость ветра составляет 2,5-4 м/с. Отсюда появляется вывод, что данный тип

ветротурбин не подходит для рассматриваемых регионов из-за большой рабочей скорости [2,3,4].

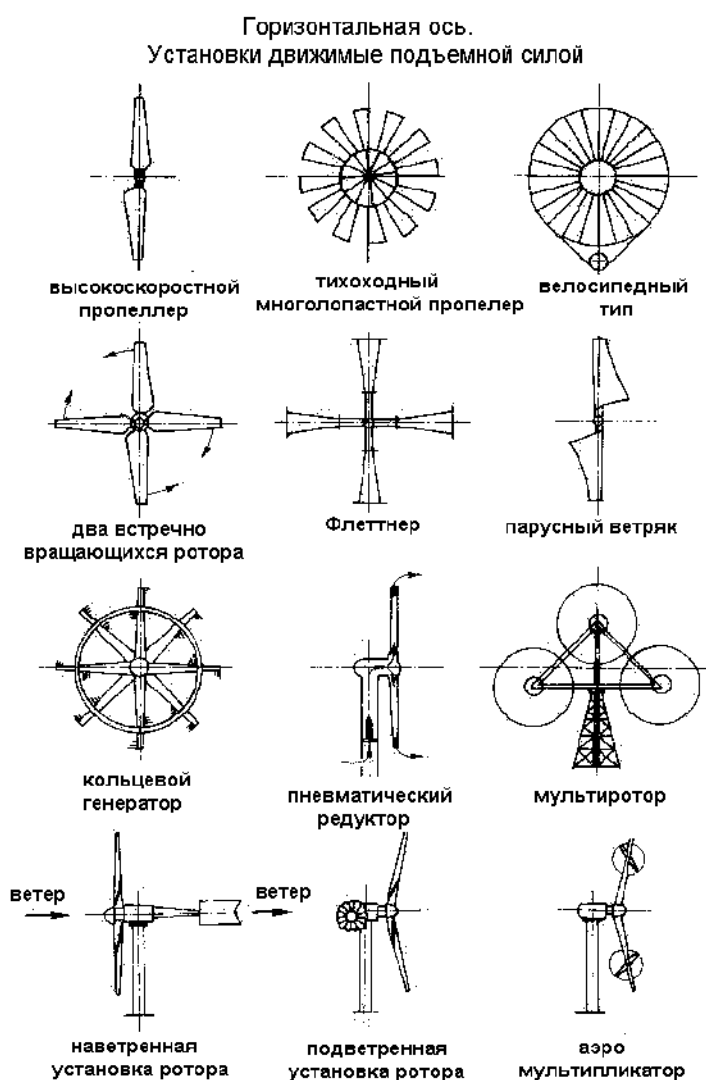


Рис. 11. Основные ветроэнергетические установки

Наиболее благоприятными характеристиками обладают многолопастные ветротурбины. Минимальная скорость ветра данных турбин составляет 0,5-1,5 м/с, максимальную мощность можно получить при скоростях ветра 6-20 м/с.

Данные ветротурбины способны преобразовать в полезную работу очень слабые потоки воздуха. При усилении ветра они теряют преимущество, а на сильных ветрах проигрывают «трех лопастным». Потери на трение растут вместе со скоростью.

По многолопастным ветроэнергетическим установкам опыта эксплуатации маленький, но расчетные показатели и тот опыт, что есть говорят о более высокой эффективности.

Выводы

Проведя двенадцатилетний обзор и анализ районов республиканского подчинения и Хатлонской области, были получены следующие результаты: средняя скорость по всем рассмотренным районам составила 2-2,5 м/с, наиболее благоприятным регионом для ветроэнергетических установок является Файзабатский район средняя скорость ветра составила 2,8 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 5 м/с.

В рассмотренных регионах применение трех лопастных ветротурбин невозможно, т.к. рабочая скорость ветра составляет от 8 до 15 м/с. Наиболее подходящие ветротурбины – это много лопатные. Они способны преобразовать очень слабые потоки воздуха в полезную работу.

Литература

1. <https://www.worldweatheronline.com>.
2. <http://vetronet.com>.
3. Кувшинов В.В., Морозова Н.В., Софийский И.Ю. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии. Учебное пособие. – Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности: «Спутник», 2018. — 276 с.
4. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П., Секторов В.Р. Ветроэлектрические станции. Москва-Ленинград, Государственное энергетическое издательство, 1960. – 320 с.

Сведение об авторах

Диёрв (Диёрзода) Рустам Хакималиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины», Таджикского технического университета имени акад. М.С. Осими, Республика Таджикистан 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых 10, Тел. +992907086969, E- mail: diyorzoda@gmail.com

Шарипов Фаридун Куваталиевич – докторант PhD кафедры «Электрические станции», ТТУ имени акад. М.С. Осими,

Сайфуллоева Олуфтами Мируллоевна – ассистент кафедры «Экономика и управление на производстве», ТТУ имени акад. М.С. Осими,

Сабуров Шерали Мустафоевич – магистрант кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины», ТТУ имени акад. М.С. Осими.

СОХТМОНИ НЕРҶОҶҶОИ ХУРДИ БАҶҚИ ВА МОҶИЯТИ ИҶТИМОИИ ОНҶО

Алимардонов Б.М.

*МТҒ "Донишкадаи тиббӣ-иҷтимоии Тоҷикистон",
Тел:(918-52 -95-45), mail:bobokhon2020@mail.ru*

Анотатсия. Самтҳои фаъолияти соҳаи электроэнергетика барои таъмиру барқарорсозии иқтидорҳои мавҷуда, сохтмони иқтидорҳои нав, зеристгоҳҳо ва хатҳои интиқоли барқ, истифодаи васеи манбаъҳои барқароршавандаи энергия, амалисозии чорабиниҳо оид ба навсозии низоми баҳисобгирии неруи барқ, саросар гузаштан ба истифодаи воситаи таҷҳизотҳои каммасраф, паст кардани талафоти технологияи тиҷоратии энергия равона карда мешавад.

Калидвожаҳо: обӣ, энергетик, саноати идоракунии захираҳои обӣ, обҳои кӯл, ангишт, корхонаи истеҳсолӣ, иқтисодиёт.

СТРОИТЕЛЬСТВО МАЛЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ИХ СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Аннотация. Направления деятельности в области электроэнергетики по ремонту и восстановлению действующих мощностей, строительство новых мощностей, подстанций и линий электропередачи, широкое использование возобновляемых источников энергии, реализация мероприятий по обновлению системы учета электроэнергии, переход в пользование энергоэффективных инструментов и оборудования, направлено на снижение технологических и хозяйственных потерь энергии.

Ключевые слова: вода, энергетика, водное хозяйство, воды озер, уголь, производство, экономика.

CONSTRUCTION OF SMALL POWER PLANTS AND THEIR SOCIAL SIGNIFICANCE

Annotation. Areas of activity in the field of the electric power industry for the repair and restoration of existing capacities, the construction of new capacities, substations and power lines, the widespread use of renewable energy sources, the implementation of measures to update the electricity metering system, the transition to the use of energy-efficient tools and equipment, aimed at reducing technological and economic losses energy.

Key words: water, energy, water management, lake waters, coal, production, economy.

Имрӯз бо мақсади таъмини истиқлолияти энергетикӣ, аз ҷумла электрикунонии ноҳияҳои дурдасти мамлакат, ки ба таъминоти барқ эҳтиёҷоти зиёд доранд, барқарор намудани неругоҳи мавҷуда ва ба кор андохтани иқтидорҳои нав, аз ҷумла бунёди хатҳои интиқоли барқ, истифодаи сарфакаронаи неруи барқ, паст кардани талафоти он ва истифодаи технологияи каммасрафи барқӣ ва аз ҷониби дигар, идораи оқилонаи захираҳои обиро тақозо менамояд.

Бояд тазаққур дод, ки камчини маҳсулоти энергетикӣ ба таври воқеӣ дараҷаи рушди соҳаҳои иқтисодиёт, соҳибкорӣ, шугли аҳоли, вазъи иҷтимоӣ, роҳ ёфтани илму дониш, таъмини оби тоза ва хизматрасонии тиббиро паст намуда, дар навбати худ истифодаи ғайрисамараноки ҷангал ва буттаҳо бошад, боиси сар задани фалокатҳои экологӣ мегарданд.

Мувофиқи ҳисоботҳои Вазорати энергетикаи ҷумҳурӣ, иқтидори умумии энергетикаи дарёҳои хурд ҳангоми дар онҳо сохтани неругоҳҳои барқии обӣ 3 млн. МВт, бо тавлиди солонаи тақрибан 100 млрд. кВт/соат мебошад.¹ Дар баробари ин, эҳтиёҷоти умумии иқтисодиёти кишвар ҳоло тақрибан 23-25 миллиард кВт/соат ва дар оянда ба 40-45 миллиард кВт/соат мерасад. Яъне, дар Тоҷикистон бар хилофи кишварҳои дигар неругоҳҳои хурду пуриқтидор на танҳо талаботи маҳаллии худро аҳолии деҳаро қонеъ карда метавонанд, балки воридшавии кишварро ба бозори байналмилалӣ энергетикӣ низ пурра карда метавонанд. Масалан, аз неругоҳҳои хурди ВМКБ ба шимолӣ Афғонистон то 1,5 миллион кВт/соат нерӯи барқдода мешавад.² Ва аз ин рӯ, тасодуфӣ нест, ки хоҳишмандони сармоягузорӣ дар сохтмони неругоҳҳои хурди барқии оби Тоҷикистон аллакай беш аз ҳад зиёданд. Масалан, ҳанӯз дар соли 2005, ширкати фаронсавӣ Алистон ба сохтани яке аз онҳо шурӯъ карда, дар моҳи ноябри соли 2006 зимни мулоқоти Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон Э.Раҳмонов бо муовини раиси ҳамон вақтаи Раёсати ширкати «Газпром» А. Рязанов масъалаи аз ҷониби ширкати фаръии «Рос Укр Энерго» бунёди се неругоҳи хурд дар дарёи Зарафшон, ки иқтидори умумии он 630 мВт мебошад, муҳокима карда шуд. Арзиши умумии ҳамаи ин се лоиҳа 440 миллион долларро ташкил медиҳад.

Ҳукумати Тоҷикистон дар ивази маблағгузорӣ барои сохтмони се неругоҳи барқӣ ба ҶДММ «Зарубежнефтегаз»-и «Газпром» ҳаққи анҷоми корҳои иқтишофӣ дар қонҳои Сарикамиш, Шохамбарӣ, Ренганва Саргазонро медиҳад. Ба ҷуз ин, ҷузъиёти дигари лоиҳа маълум нест. Гузашта аз ин, тибқи

баъзе гузоришҳо, тасмими ниҳой дар ин бора ҳанӯз гирифта нашудааст. Дар ҳамин ҳол, ҷаноби Рязанов гуфтааст, ки бо фуруши нерӯи барқ аз НБО-и оянда ширкати «Интер РАО ЕЭС», як ширкати фаръии Ҳолдинги энергетикии Россия машғул хоҳад шуд.

Илова бар ин, ширкатҳои эронӣ ва қазоқӣ ба бунёди нерӯгоҳҳои хурди барқӣ дар Тоҷикистон тавачҷуҳи зиёд зоҳир мекунад. Комилан мумкин аст, ки дар ояндаи наздик дар ин бозор бозигарони нав пайдо шаванд, ки албатта, онҳо низ ба содироти ҳадди аксари нерӯи барқаз нерӯгоҳҳои сохташон манфиатдор хоҳанд буд.

Аз ин лиҳоз, бархе аз коршиносон аллакай пешгӯӣ мекунад, ки сохтмони нерӯгоҳҳои хурди барқии обӣ, боиси душвориҳои зиёд, пеш аз ҳама барои сармоягузориҳои хориҷӣ, бар зарари ниёзҳои рушди иқтисоди кишвар мегардад. Чунин изҳоротҳоро комилан беасос номидан душвор аст, аз ин рӯ, ҳадди аққал метавон гуфт, ки на танҳо тавлидот, балки иншооти шабакавӣ ва дар ниҳоят, шабакаҳои тақсимои дохилӣ, ки иштирок дар навсозии онҳо барои сармоягузориҳои эҳтимоли тавачҷуҳи хоса надорад, маблағгузориҳои калони асосиро талаб мекунад. Аммо маълум нест, ки ҳангоми иштироки инвесторони хориҷи дар иҷрои лоиҳаҳои алоҳидаи сохтмони объектҳои хурди барқӣ, ба зиммашон кадом вазифаҳо гузошта мешавад. Ва баъдан, бо иқтидори калони захираҳои гидроэнергетикӣ дар кишвар, ки дар мамлакат, аз ҷумла дар нерӯгоҳҳои барқии хурд ҳосил мешуда, кВт ба ҳама қифоя буд. Ва қувваи барқ, ҷӣ тавре, ки маълум аст, захира карда намешавад. Ҳамин тавр, ҳуди истеҳсолкунандагон бояд дар ташкили таъминоти он - ҳам ба истеъмолкунандагони беруна ва ҳам дохилӣ иштирок кунанд.

Ҳамин тавр, бо тамоми камбудии муваққати вазорату идораҳо дар омӯзиши захираҳои энергетикӣ дарёҳои хурд ва лоиҳакашии нерӯгоҳҳои барқии оби хурду миёна, инчунин дар шароити маҳдуд будани имкониятҳои ҷумҳурӣ барои сохтмони нерӯгоҳҳои барқии оби хурд, ҳуди далели афзудани тавалълӯҳи Ҳукумати Ҷумҳурии ба рушди устувори истеҳсоли энергияи хурд омили хеле умедбахш аст, ки барои ободони минбаъдаи деҳоти тоҷик ва ҷумла кардани захираҳои молиявии хазинаи иқтисодии давлат бебаҳо мебошад.³

Дар умум, то имрӯз, низоми энергетикӣ ҷумҳурӣ механизми мураккаби комплекси сӯзишворӣ-энергетикӣ ба ҳисоб меравад, ки дар худ якҷанд нерӯгоҳҳои гармидиҳӣ ва нерӯгоҳҳои сершумори барқии обӣ дорад, аз ҷумла: ШГМ Душанбе, бо иқтидори барқии 198 ҳаз. кВт, ШГМ Ёвон, бо иқтидори 120 ҳаз. кВт, ШГМ Хучанд, ба ҳисоб меравад. Аз сабаби ноқифоя будани

таъминоти сузишворӣ ШГМ-и Душанбе бо иқтидори пурра қор накарда, ШГМ Ёвон фаъолият намекунад. Аммо аз фаъолият бозмондани онҳо ба ҳаҷми умумии истеҳсоли қувваи барқ дар ҷумҳурӣ таъсир нарасонд. Масалан, тибқи омор, соли 2002 тамоми неругоҳҳои кишвар, гӯё 15244 миллион кВт/соат нерӯи барқтавлид кардаанд. Аз ин миқдор нерӯгоҳҳои барқии обӣ зиёда аз 15164 миллион кВт/соат ва ШГМ-и Душанбе 0,08 миллиард кВт/соат истеҳсол кардаанд, ки мутаносибан 99,5% ва 0,5% ҳаҷми умумии истеҳсолотро ташкил медиҳад.⁴

Илова бар ин, имрӯз лӯмбӯри то 90%-и нефту гази истифодакардаашро аз давлатҳои ҷамъияти ворид мекунад. Аммо, дар ин бобат низ муваффақияту дигаргуниҳои муайяне мавҷуданд. Ҳукумати ҷумҳурӣ тамоми чораҳои лозимаро ҷиҳати таъминоти талаботҳои ҳеш тариқи сарватҳои нефту гази захираҳои зеризаминии худ қонеъ гардонад, ки дар бобҳои гузашта чандин маротиба қайд намудем. Дар натиҷа, дар соли 2008 ҳаҷми истихроҷи нефти дохилӣ ба 26150 тонна ва газ ба 16 миллиону 227 ҳазор м³ расонида шуд.

Ҳамин тавр, дар доираи хоҷагии халқи ИҚШС қисми даромади баланси сӯзишворӣ-энергетикӣ ҷумҳурӣ аз ҳисоби истеҳсоли дохилии захираҳои сӯзишворӣ-энергетикӣ то 48-49% таъмин карда мешуд. Қисмати боқимонда, яъне зиёда аз 50% аз ҳисоби воридоти аз ҷумҳуриҳои собиқ шӯравӣ таъмин карда мешуд. Ғайр аз ин, ҳамасола ба ҷумҳурӣ то 7,2 млрд. м³ газ, 800-900 ҳаз. тонна ангишт, то 2-2,5 млн. тонна маҳсулоти нефтӣ-газӣ, то 6,3-7 млрд. кВт/с қувваи барқ ва ғ., ворид мегашт.

Аммо, дар солҳои соҳибхотери давлатӣ дар низоми баланси сӯзишворӣ-энергетикӣ ҷумҳурӣ тағйироти калон, аз ҷумла дар давраи солҳои 1990-2002 ин низом якбора бадтар гардид. Барои мисол, дар солҳои зикршуда воридоти ҳаҷми қувваи барқ 32,5%, гази табиӣ 72%, маҳсулоти нефти 88,5%, ангишт бештар аз 99,5% кам гашт. Дар маҷмӯъ, ҳаҷми воридоти захираҳои сӯзишворӣ-энергетикӣ 70,7% кам шуда, 2 миллиону 435 ҳазор тонна сӯзишвории шартиро ташкил дод. Дар натиҷа, дар ҷумҳурӣ истеъмоли захираҳои сӯзишворӣ-энергетикӣ 50,6%, аз ҷумла қувваи барқ – ба 12,4%, газ – ба 72%, маҳсулоти нефти – ба 88,5%, нефт – ба 80%, ангишт – ба 99,6% ва ғайра, кам гашт.⁵

Дар бораи саноати ангишти ҷумҳурӣ сухан ронда, қайд намудан лозим аст, ки бинобар бад будани шароити моддӣ-техникӣ, он ҳануз дар вазъияти хеле душвор қарор дорад, гарчанде ки захираҳои ин намуд маҳсулоти хом дар ҷумҳурӣ зиёд мебошад. Чунин ба назар мерасад, кивазъияти фалокатовар дар саноати ангишт аз замони шӯравӣ ба таври музминидомадорад. Ҳанӯз аз он

давра, дар бучети давлатӣ барои саноати ангишт маблағ кам чудо карда мешуд. Ва дар солҳои соҳибхитӣ ин тартиби маблағгузорӣ идома дорад. Аммо бӯҳрони энергетикӣ ибтидои солҳои 90-ум Ҳукуматро маҷбур кард, ки ба ин масъала аз як паҳлӯи дигар назар кунад. Моҳи октябри соли 1997 қарор «Дар бораи тадбирҳои рушди саноати ангишти Љумбурии Тоҷикистон дар давраи солҳои 1998-2010» қабул гардид. Дар қарор то соли 2001 ба 1140 ҳаз. тонна расондани истеҳсоли ангиштпешбинӣ шуда буд. Ба иҷрои ин вазифа дар ҷумҳурӣ 17 конҳои ангишт ва 24 назорати ангишт машғул буд.

Хулоса

Аллақай дар боло зикр карда шуда буд, ки захираҳои пешбинишудаи ангишт дар ҷумҳурӣ ба 3,6 млрд. тонна баробар мебошанд. Тадричан дар тамоми ноҳияҳои кӯҳсори ҷумҳурӣ конҳои ангишт мавҷуданд, вале аксарияти онҳо бинобар сабаби шароитҳои номусоиди кӯҳӣ-геологӣ азхудкунии саноатӣ нагирифтаанд. Дар баробари ин исбот карда шуд, ки ҳаҷми захираҳои ангишт назар ба захираи газу нафти ҷумҳурӣ чандин маротиба бештар мебошад. Аммо дар Тоҷикистон барои тараққи додани саноати ангишт ҳанӯз ба қадри лозима базаи техникӣ мавҷуд набуда, маҳз ҳамин сабабгори ночиз будани истеҳсолоти ангишт ба ҳисоб меравад.

Аз ин рӯ моро зарур аст, ки баҳри харчи зиёдтар бунёд намудани неругоҳҳои хурди барқӣ тамоми шароитҳои созгорро муҳаё созем, дар таҷрибаи чандин сола маълум гардид, ки бунёд ва сохтани ин неругоҳҳои судмандро бабор овард давлату кишвар ва мардум аз он баҳраваргардид.

Адабиёт

1. Дар бораи сиёсати энергетикӣ Президенти Тоҷикистон Эмомали Раҳмон / Пажӯҳишгоҳи ҷумҳуриявии илмӣ-тадқиқотии «Нурафзо». – Душанбе, 2011. – С. 110-113.
2. Ҳотамов Н.Б. Дигаргуниҳои иҷтимоӣ-иқтисодии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар даври соҳибхитӣ (солҳои 1991-2006). – Душанбе, 2008. – С. 49-50.
3. Энергетика ва саноат. – 2009. – № 4. – С. 10.
4. Ҳотамов Н.Б. Дигаргуниҳои иҷтимоӣ-иқтисодии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар даври соҳибхитӣ (солҳои 1991-2006). – С. 47-48.
5. Экономикаи Тоҷикистон: Стратегияи рушд. – 2003. – № 3. – С. 87.

Маълумот оиди муаллифон:

Алимардонов Бобоҳон Маҳмадиевич - Ассенти кафедраи фанҳои ҷомеашиносии МТҒ “Донишқадаи тиббӣ-иҷтимоии Тоҷикистон”,
Тел: (918-52 -95-45), mail: bobokhon2020@mail.ru

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ибрагимова Э.И.

СамКЖТ (Самарский колледж железнодорожного транспорта им. А.А. Буянова), город: Самара

Руководитель: Максимова Татьяна Сергеевна (преподаватель)

Почта: elinaibragimova@gmail.com

Энергетические системы и источники электроэнергии" – это область, изучающая производство, передачу, распределение и использование электроэнергии. Включает в себя разнообразные технологии, методы и источники, такие как генерация электроэнергии из различных источников (солнечная, ветровая, ядерная, тепловая, гидроэнергетика), энергосбережение, энергоэффективность, управление энергопотреблением, а также разработку и совершенствование систем энергоснабжения для обеспечения стабильности и устойчивости энергетического комплекса.

Энегетические системы. Энергетические системы представляют собой комплексные структуры и технологии, направленные на производство, передачу, распределение и потребление энергии. Они играют ключевую роль в обеспечении электроэнергией для различных секторов экономики. Несколько типов энергетических систем включают:

Централизованные электроэнергетические системы: Они включают генерацию энергии на крупных электростанциях, таких как ГЭС, ядерные станции или термальные электростанции, и передачу электроэнергии через сеть высоковольтных линий.

Децентрализованные энергетические системы: Включают в себя маломасштабные источники, такие как солнечные панели, ветряные генераторы или микрогидроэлектростанции, которые могут обеспечивать энергией отдельные дома, предприятия или области.

Умные энергетические сети: Внедрение технологий для более эффективного управления и распределения энергии, включая мониторинг и управление потреблением электроэнергии.

Энергосберегающие системы: Технологии и стратегии, направленные на снижение потребления энергии в различных секторах, включая промышленность, транспорт и домашнее потребление.

Хранение энергии: Разработка систем и технологий для накопления избыточной энергии, например, с использованием аккумуляторов или технологий хранения тепла.

Интеграция различных источников энергии: Обеспечение эффективной работы систем, включая разные источники энергии, чтобы обеспечить стабильность и устойчивость энергоснабжения.

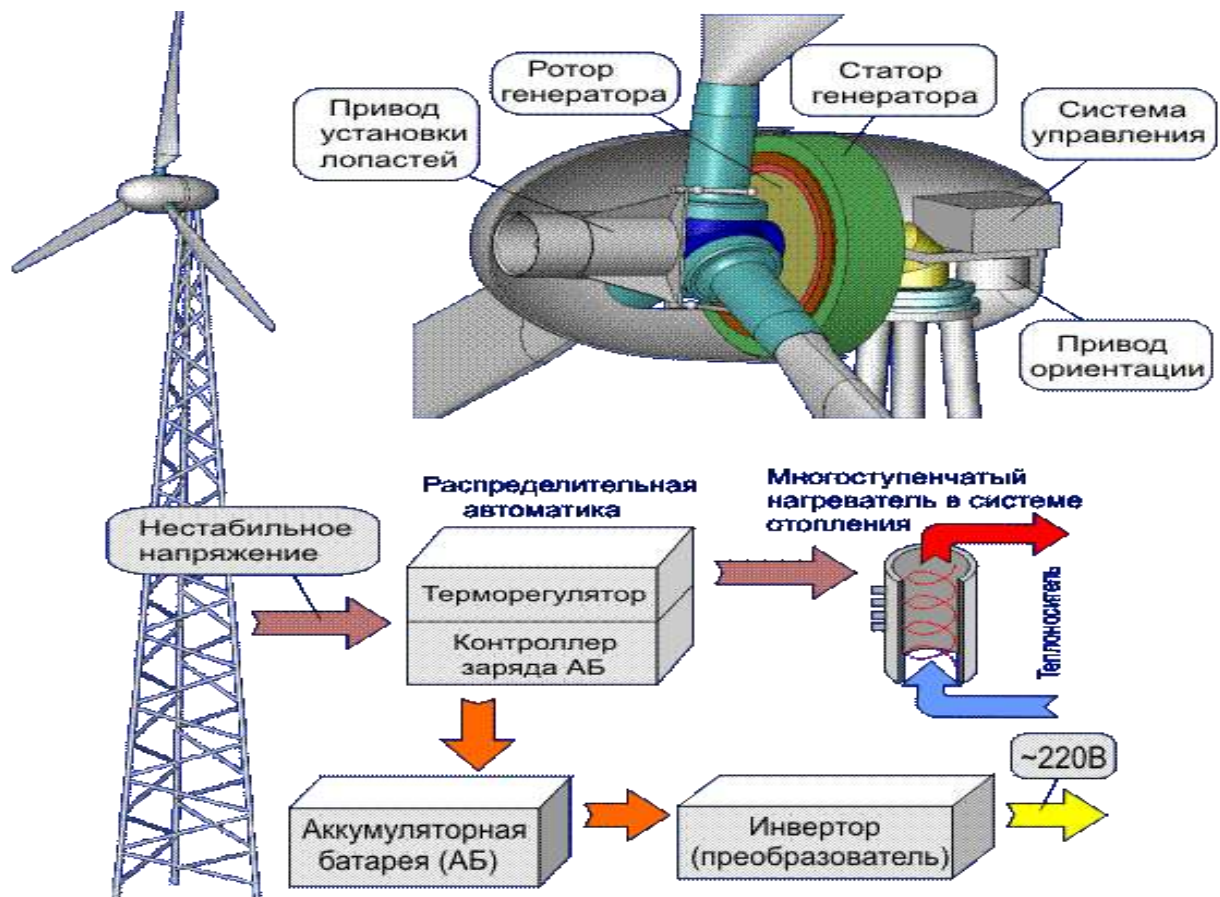
Энергетические системы становятся все более разнообразными и устойчивыми с использованием различных источников энергии и современных технологий управления.

Какие могут быть источники электроэнергии?

1. Солнечная энергия: Преобразование солнечного излучения в электроэнергию с использованием солнечных батарей.

Солнечная энергия основана на использовании солнечных батарей, также известных как солнечные панели, для преобразования солнечного света в электроэнергию. Солнечные панели содержат фотоэлектрические ячейки, которые при воздействии света генерируют постоянный ток. Инвертор затем преобразует этот постоянный ток в переменный ток, который может быть использован в электрических системах.

2. Ветряная энергия: Генерация электроэнергии с использованием ветрогенераторов, приводимых в движение ветром.



Ветряная энергия основана на использовании ветрогенераторов, которые преобразуют кинетическую энергию ветра в механическую энергию вращения

лопастей. Этот вращающийся механизм затем передает энергию генератору, который преобразует ее в электроэнергию. Электроэнергия от ветрогенераторов может быть интегрирована в электрическую сеть или использоваться для независимых систем, таких как ветряные фермы.

3. Ядерная энергия: Производство электроэнергии путем деления ядерных ядер.

Ядерная энергия использует ядерные реакции, как правило, деление атомных ядер, для генерации тепла, которое затем преобразуется в электроэнергию. Процесс начинается в ядерных реакторах, где топливо, обычно уран-235 или плутоний-239, подвергается делению. Этот процесс сопровождается высвобождением большого количества тепла и нейтронов.

Высвобожденное тепло используется для нагрева воды, которая затем преобразуется в пар. Пар в свою очередь приводит турбину, которая приводит генератор в движение, создавая электроэнергию. Электроэнергия, таким образом, производится без прямого выброса углекислого газа, но существуют вопросы безопасности, управления отходами и ядерного разоружения, связанные с ядерной энергией

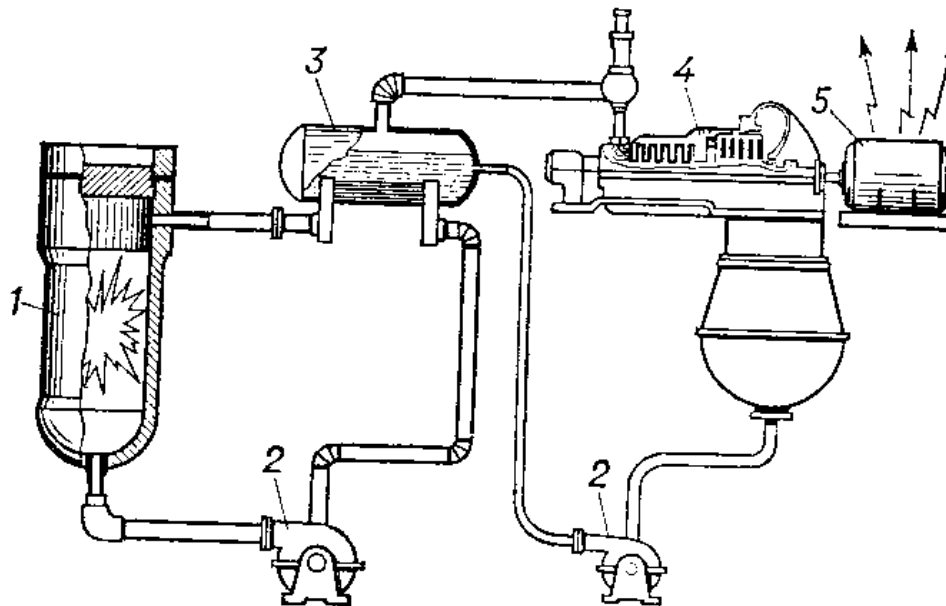


Рис. 2. Принципиальная схема АЭС:
1 — ядерный реактор; 2 — циркуляционный насос; 3 — теплообменник; 4 — турбина; 5 — генератор электрического тока.

4. Тепловая энергия: Использование тепла для преобразования воды в пар и приведения турбины в движение для генерации электроэнергии.

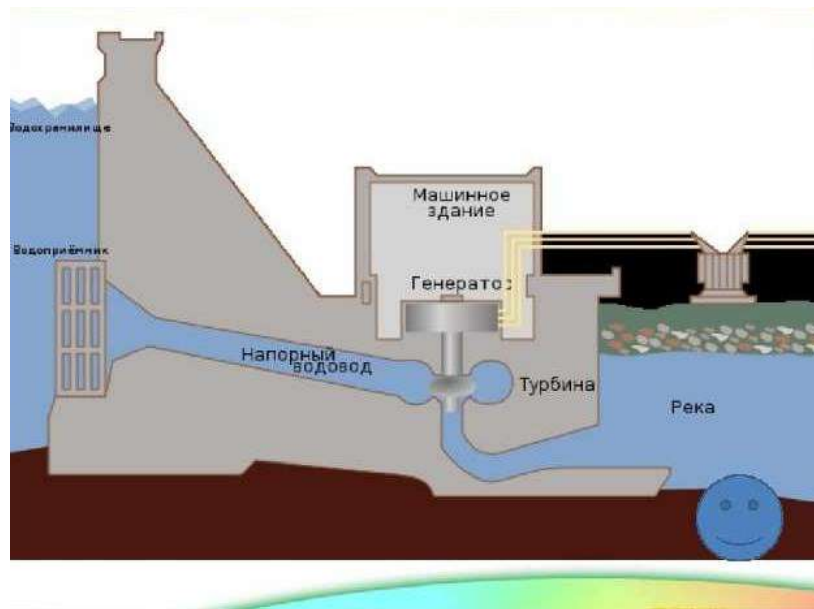
Тепловая энергия основана на использовании тепловых источников для генерации пара, который затем приводит в движение турбину, а турбина, в свою очередь, вращает генератор, производящий электроэнергию. Тепловые источники могут включать сжигание угля, нефти, природного газа или других возобновляемых источников тепла.

5. Гидроэнергетика: Использование потока воды для вращения турбин и производства электроэнергии.

Гидроэнергетика использует энергию потока воды для генерации электроэнергии. Гидроэлектростанции могут использовать энергию приливов, водопадов или рек. В этом процессе вода направляется через турбину, что вызывает ее вращение, и турбина передает эту энергию генератору для производства электроэнергии.

Гидроэнергетика – это отрасль энергетики, которая использует энергию потока воды для производства электроэнергии. Главными компонентами гидроэнергетических систем являются гидроэлектростанции (ГЭС) и микрогидроэлектростанции.

Гидроэлектростанции (ГЭС): Крупные сооружения, которые используют водопады или реки для создания потока воды, который приводит в движение турбины. Турбины, в свою очередь, вращают генераторы, производящие электроэнергию. ГЭС являются мощными источниками электроэнергии, при этом являются относительно чистыми источниками.



Микрогидроэлектростанции: Небольшие установки, которые могут быть развернуты на небольших реках или потоках. Они обеспечивают электроэнергию для отдельных домов, ферм или удаленных областей,

используя аналогичные принципы – турбины, приводимые в движение потоком воды, и генераторы для производства электроэнергии.

Гидроэнергетика считается одним из наиболее устойчивых и экологически чистых источников энергии, но она также может оказывать воздействие на экосистемы и требует осмотрительного планирования при строительстве ГЭС.

6. Геотермальная энергия: Извлечение тепла из земли для генерации электроэнергии.

Геотермальная энергия использует тепло, которое выделяется из недр Земли. Горячая вода или пар из геотермальных источников поднимается на поверхность и используется для приведения в движение турбин, генерируя электроэнергию. Этот процесс чистый и стабильный, не подразумевает сжигания топлива и может работать непрерывно

7. Традиционные источники: Уголь, нефть, газ – генерация электроэнергии с использованием традиционных источников.

8. Энергосберегающие технологии: Внедрение технологий и систем, направленных на снижение потребления энергии.

9. Биомасса: Производство электроэнергии из органических материалов, таких как древесина, сельскохозяйственные отходы.

10. Микрогенерация: Создание маломасштабных систем генерации электроэнергии, например, солнечных панелей на крыше дома.

Заключения о энергетических системах и источниках электроэнергии

Разнообразие источников: Энергетические системы включают широкий спектр источников, таких как солнечная, ветровая, гидро- и ядерная энергия, тепловые и геотермальные источники, что способствует диверсификации энергетического комплекса.

Устойчивость и эффективность: Внедрение возобновляемых источников энергии, а также технологий энергосбережения, способствует устойчивости и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Технологические инновации: Продвинутое технологии, такие как смарт-сети и системы хранения энергии, способствуют более эффективному управлению энергетическими ресурсами.

Децентрализация: Развитие маломасштабных систем, таких как микрогидроэлектростанции и солнечные панели, способствует децентрализации и уменьшению зависимости от крупных централизованных источников.

Надежность и безопасность: Внимание к вопросам безопасности, особенно в ядерной энергетике, и разработка технологий для минимизации рисков обеспечивают более надежное функционирование энергетических систем.

Глобальная энергетическая трансформация: Существует тенденция к глобальной трансформации энергетических систем с целью сокращения выбросов углерода и борьбы с изменением климата.

Необходимость управления спросом: Развитие умных технологий для управления спросом на электроэнергию становится все более важным элементом энергетических систем.

В целом, эти тенденции свидетельствуют о поиске более чистых, эффективных и устойчивых путей производства и потребления электроэнергии, что имеет важное значение для устойчивого развития в будущем.

Литература

1. Н.И. Воропай, "Источники электроэнергии: учебное пособие."
2. П.П. Шмидт, "Гидроэнергетика: проблемы и перспективы."
3. Д.И. Варенцов, "Солнечная энергетика: технологии и приложения."
4. Л.А. Воротилин, "Ядерная энергетика: от теории к практике."
5. Д.Г. Косенко, "Энергосбережение в электроэнергетике: методы и технологии."
6. И.И. Гаджиев, "Ветровая энергетика: основы и применение."
7. Д.А. Попов, "Энергетические системы и сети: технологии и перспективы развития."

Сведения об авторах

Ибрагимова Э.И. – студент 3 курса, группы ЭН-3-647, 13.02.07. Электроснабжение (по отраслям), СамКЖТ им.А.А.Буянова.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА НА ГИДРОРЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Бобоев А.А.

ТГУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: ali186@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается влияние изменение климата на гидроресурсы и роль государственной политики в борьбе с изменением климата

Ключевые слова: изменение климата, экстремальные погодные явления, повышение температуры, водные ресурсы, гидроэлектростанции.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON HYDRO RESOURCES OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Abstract: This article examines the impact of climate change on water resources and the role of public policy in the fight against climate change.

Keywords: climate change, extreme weather events, rising temperatures, water resources, hydroelectric power plants.

Проблема изменения климата - одна из важнейших международных проблем- комплексная, междисциплинарная, охватывающая экологические, экономические и социальные аспекты по обеспечению устойчивого развития всех стран, включая и Республику Таджикистан.

Решение проблем, связанных с изменением климата и нарастающей угрозы глобального потепления уже давно стало одной из главных целей многих государств мира. В Таджикистане принимаются меры на правительственном уровне для решения вопросов, связанных с изменением климата, в их числе принята в 2019 году «Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года».

Изменение климата рассматривается как растущая угроза для окружающей среды в Таджикистане. Основной угрозой считается рост температуры, который несет серьезную угрозу ледникам и водным ресурсам. Приземные температуры воздуха растут в большинстве регионов на больших высотах. Самый высокий рост температуры был отмечен в Дангаре (на 1.2°C), и Душанбе (на 1.0°C) за 65-летний период наблюдений. В горных районах рост температуры на 1.0-1.2°C отмечен в Ховалинге, Файзабаде и Ишкашима. Также увеличилось количество дней с максимальными температурами, достигающими 40°C и более.

Согласно прогнозам, изменение климата и его последствия, такие как экстремальные температуры, отдельные аномальные обильные осадки и природные стихийные бедствия будут оказывать серьезные воздействия на различные инфраструктуры, такие как дорожные, строительные, ирригационные энергетика и т.п. В свою очередь следствием будет ограничение доступа к различным услугам, возможностям, инструментам, являющимся источником доходов и средством существования для бедного населения.

Однако вопрос климатических изменений в Таджикистане и их последствий напрямую касаются не только самой страны, но и всех стран региона Центральной Азии. Ведь, как известно, в Таджикистане образуется значительная часть водных ресурсов Центральной Азии и таяние ледников в нашей стране представляет огромную угрозу для всего региона в целом. Здесь речь идет о неблагоприятном влиянии изменения климата на гидроэнергетику, водоснабжение и орошение земель.

Энергетическая безопасность – одна из трех стратегических целей таджикского правительства. Запасы воды в водохранилище крайне важны в вопросе производства электроэнергии в количествах, достаточных как для бесперебойного снабжения населения, так и для увеличения объемов ее экспорта в целях экономической эффективности. Поэтому в этой статье мы попытаемся разобраться, что привело к резкому сокращению приточности воды в реках, и как результат – уменьшению водных запасов, соответственно выработки электроэнергии. Таким образом, увеличение объема воды в водохранилищах нарушит процесс выработки электроэнергии на ГЭС, расположенных выше по течению. Большое количество воды также может явиться стимулом для страны монетизировать лишние объемы, производя и экспортируя больше электроэнергии [3].

Изменение климата наблюдается по всему миру. Повышение температуры планеты связано с так называемым парниковым эффектом, который возникает из-за переизбытка углекислого газа в атмосфере. На самом деле парниковые газы очень важны для земли, они позволяют солнечным лучам согревать планету, но из-за их переизбытка, в особенности углекислого газа, теплый воздух своевременно не выходит из нашей атмосферы в космос, что перегревает землю.

Республика Таджикистан, по сравнению с другими странами региона Центральной Азии, не является страной с высоким уровнем выбросов углекислого газа в атмосферу и занимает 135 место. К примеру, Узбекистан на

38 месте, Кыргызстан на 116 и Казахстан на 23 месте. Но все же, Таджикистан считается наиболее уязвимой страной в регионе [3].

В 2019 году в Таджикистане была принята «Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года».

В стратегии отмечается, что Таджикистан занимает первое место среди стран Европы и Центральной Азии по расчетному упрощенному индексу уязвимости к изменению климата, являясь особенно чувствительной страной по данному критерию в связи с низкой способностью к адаптации. С учетом усугубления существующих проблем и появления новых рисков, изменение климата, скорее всего, будет выступать барьером на пути достижения Таджикистаном своих приоритетных направлений развития [4].

Риски, связанные с изменениями климата и адаптационные меры по снижению последствий этих рисков для населения и ключевых отраслей экономики, являются важными элементами Национальной стратегии развития Таджикистана до 2030 года.

Согласно данным Рамочной Конвенции ООН об изменении климата, средняя температура в стране рискует подняться от 1.8°C до 2.9°C к 2050 году. «Это повлияет на все сектора Таджикистана. К примеру, в результате изменения климата (например, неожиданного и быстрого таяния ледников) увеличивается опасность наводнений, образования селей и лавин, т.к. они и без того регулярно происходят в весенние месяцы таяния снегов. Засуха, наводнения или экстремальные погодные условия через усиление проблемы бедности (уничтожение урожаев и лишение доходов), способствуют еще большей активизации миграционных процессов – население вынуждено переезжать в поисках работы», - отмечается в Национальной стратегии.

Чтобы не допустить повышения температуры на планете выше нормы нужно снизить выбросы углекислого газа (диоксид углерода) в атмосферу и для этого страны мира, в том числе и Таджикистан, предпринимают меры. Страны решили удерживать уровень углекислого газа на безопасном, для окружающей среды, уровне. Для этого 5 лет назад в ходе Конференции по климату в Париже было принято соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, регулирующее меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 года [2].

Выводы

Экстремальные погодные явления тесно связаны с водобалансом, изменениями в снежном покрове, таянием ледников, а также повышением

уровня моря. Изменения в стоке рек могут негативно повлиять на производство электроэнергии на гидроэлектростанциях в таких странах, как Таджикистан, где более 93% электроэнергии вырабатывается на гидроэлектростанциях.

Экстремальные погодные явления тесно связаны с водобалансом, изменениями в снежном покрове, таянием ледников, а также повышением уровня моря. Изменения в стоке рек могут негативно повлиять на производство электроэнергии на гидроэлектростанциях в таких странах, как Таджикистан, где более 95% электроэнергии вырабатывается на гидроэлектростанциях.

Литература

1. Идрисов Т. Изменение климата –практические решения. Душанбе-2006 г, 27 стр.
2. Национальный отчет о человеческом развитие. Таджикистан: бедность в контексте изменения климата. Душанбе-2012, 112 стр.
3. Интернетпорталы:<https://asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/society/20201210/tadzhikistan-prinimaet-adaptatsionnie-meri-v-borbe-s-izmeneniem-klimata>. Дата обращения 10 декабря 2023 г

Сведения об авторе:

Бобоев Алимардон Абдуманнонович- соискатель кафедры «Экономика и управление производством», старший преподаватель кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими. Таджикистан, г. Душанбе. Проспект ак. Раджабовых 10. Тел. +992 938960036, E-mail: ali186@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ В ЖКХ

Бобоев А.А.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: ali186@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается влияние изменение климата на энергопотребление в ЖКХ и пути их решения.

Ключевые слова: Процесс производства энергия, энергопотребления, эффективное использование энергии.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON ENERGY CONSUMPTION IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

Abstract: This article examines the impact of climate change on energy consumption in housing and communal services and ways to solve them.

Key words: Energy production process, energy consumption, efficient use of energy.

Процессы производства энергии, которую мы потребляем, наносят урон окружающей среде. Этот урон заставляет нас задуматься над возможностями снижения потребления энергии. Более эффективное использование энергии послужит на пользу окружающей среде, и в то же время принесет выгоды. Меры по повышению энергоэффективности повысят комфорт нашей жизни и качество полезных применений энергии. Наконец, экономия энергии и ресурсов — способ сократить расходы.

Энергия в форме электричества, нефти или газа сама по себе не является для нас полезной. С другой стороны, работа и другие полезные способы применения энергии, которые могут быть произведены при помощи этих источников — основные элементы нашей повседневной жизни.

Множество различных источников энергии может быть использовано для получения света, тепла, механической работы и для других полезных целей. Такое использование источников энергии мы называем энергетическими услугами.

Стремясь к улучшению жизненных условий и снижению воздействия на окружающую среду, необходимо найти методы и технологии, которые позволят:

Эффективно использовать энергию. Мы должны как можно более полно использовать энергию на полезную работу и ни на что иное! Наши потребности в применении энергии в полезных целях должны удовлетворяться при минимальной бесполезной затрате. В качестве примеров можно привести:

устранение утечек теплого воздуха из квартиры, использование энергоэффективных лампочек и сокращение использования горячей воды.

Выбирать источники энергии оптимального качества (не выше необходимого)

Нам не следует использовать понапрасну энергию высокого качества. В тех случаях, когда возможно использовать энергию низкого качества (тепло), не следует расходовать энергию высокого качества (электричество). Но даже если мы следуем этим принципам, основанным на законах природы, необходимы дополнительные усилия по организации общества и нашей жизни устойчивым образом. В этот процесс должны вовлекаться и общественные науки, и политика, и общественное участие.

Организовать общество и обеспечить устойчивость нашей жизни

Наш образ жизни в современном обществе должен развиваться в соответствии с вышеизложенными правилами. Организация общества, включая законы и экономические рычаги, должна способствовать энергоэффективности, вторичной переработке материалов, развитию общественного транспорта и другим составляющим устойчивого образа

жизни.

Энергосбережение может быть различным. Самые простые и элементарные меры энергосбережения доступны для каждого и могут быть применены в быту фактически повсеместно:

Солнечное освещение. Даже низкое зимнее солнце способно нагреть комнату через окна. Поэтому в солнечный день стоит раздвинуть занавески, если вы хотите получить дополнительное тепло. А вот вечером шторы лучше задернуть, чтобы тепло не улетучивалось через окна.

Электроосвещение. Современная техника позволяет экономить до 60% электроэнергии. Например, энергосберегающие светодиодные лампы работают в 10 раз дольше обычных ламп накаливания, но потребляют в 4-5 раз меньше энергии. Многоламповая люстра на потолке обеспечивает освещение всего помещения, но образует тень при мелкой (ручной, письменной) работе. Гладкая белая стена в помещении отражает 80% направленного на нее света, темно-зеленая отражает только 15%, черная - 9%. Кроме того, необходимо реже пользоваться верхним светом, поскольку освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния от светового источника, то есть 60 Вт в настольной лампе вполне заменяет 150 Вт в лампе под потолком. Это и экономнее, и уютнее.

Одежда. Теплая удобная одежда в квартире - идеальный «источник» тепла. Упрощенно можно считать, что один легкий шерстяной жакет – это

экономия 15-25% энергии на обогрев. А как приятно ходить по дому в теплых, мягких тапочках или шерстяных носках!

Холодильник. Холодильник необходимо ставить в прохладное место и уж ни в коем случае не возле плиты и отопительных систем. Теплообменник работает тем эффективнее, чем ниже температура в помещении. Крайне отрицательно на работе холодильника сказывается большая «шуба» в морозильнике. Лёд в холодильнике не холодит, а, наоборот, работает теплоизолятором. Поэтому холодильник нужно чаще оттаивать.

Стиральная машина. За месяц стиральная машина расходует около 45 кВт/ч. Загружая бак стиральной машины лишь на половину, половина её мощности расходуется вхолостую. Покупая новые стиральные машинки, будьте уверены, что она энергосберегающая. Современные образцы потребляют до 40% меньше электроэнергии.

Электрическая плита. Самый расточительный из бытовых приборов. Если телевизор расходует за год около 300 кВт.ч, холодильник примерно 450 кВт*ч, то электроплита – больше 1000 кВт*ч. Поэтому в плите заложены главные резервы экономии. Для большинства кулинарных процедур мощный нагрев не нужен. Жидкость надо лишь довести до кипения, потом доваривать на медленном огне. Кастрюля должна соответствовать диаметру конфорки. Старые кастрюли с выпуклым и вогнутым дном приводят к 40-50% перерасходу электроэнергии. Помните - если воды слишком много и если посуда без крышки - вы тратите гораздо больше энергии, чем необходимо.

Утюг. Необходимо помнить, что слишком сухое, и слишком влажное бельё приходится гладить дольше, а значит, и большой расход энергии. И ещё одна «мелочь»: утюг можно выключить за несколько минут до конца работы; на это время вполне хватит остаточного тепла.

Чайник. Накипь в чайнике проводит тепло почти в тридцать раз хуже, чем, металл, поэтому расход теплоты на нагревание воды в чайнике увеличивается. Ежедневно на газовых и электрических плитах кипит вода в десятках миллионах чайников. Безобидность серого налёта оборачивается миллионами кубометров газа и десятками тысяч киловатт-часов электроэнергии, расходуемых зря.

Более сложные методы энергосбережения, как, например, планировка домов с учетом улавливания солнечного тепла, реконструкция старых систем отопления, применение новейшего энергоэффективного оборудования в промышленности должны стать постоянной заботой государства, владельцев предприятий или местных администраций.

Более эффективно использовать энергию, значит помочь окружающей среде и в то же время получить выгоду. В европейских условиях -79% энергии идет на отопление; 15% на нагрев воды, приготовление пищи; 5% на бытовую технику и 1% на освещение, радио и телевизионную технику [1].

Вывод

В бытовом секторе роль энергоэффективности должно взять на себя энергосбережение. По данным специалистов сегодняшний реальный потенциал энергосбережения в Таджикистане - порядка 30% от общего потребления. В бытовом секторе различные энергосберегающие методы, могут сохранить более 50% используемой энергии.

Энергосберегающие меры зависят во многом от личной осведомленности и участия. Многие из них не требуют никаких инвестиций и зависят исключительно от нашего поведения.

Рост численности населения региона ложится тяжелым бременем на экологические системы, которые обеспечивают воду, используемую в пище, для производства продовольствия и других жизненно важных услуг. Поскольку дефицит водных ресурсов является естественным ограничением стабильного экономического роста, наблюдающегося во многих частях региона, настало время для того, чтобы регион начал уделять первоочередное внимание в процессе экономического развития долго остававшимся в тени вопросам неразрывной связи между водной, энергетической и продовольственной безопасностью.

Литература

1. Идрисов Т. Изменение климата –практические решения. Душанбе-2006 г, 27 стр.

Сведения об авторе:

Бобоев Алимардон Абдуманнонович- соискатель кафедры «Экономика и управление производством», старший преподаватель кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими. Таджикистан, г. Душанбе. Проспект ак. Раджабовых 10. Тел. +992 938960036, E-mail: ali186@mail.ru

ЛОПАСТЬ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНО ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Рахимов Ф. М.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: rm-firdavs@mail.ru

Аннотация: Показано, что выбор типа рабочего колеса зависит от выбора типа и количество лопастей. Также показано зависимость производительности ВЭУ от геометрических параметров ветроколеса в частности от его лопасти. Приведено описание разработанного лопасти с изменяемой геометрией для вертикально осевых ВЭУ карусельного типа.

Ключевые слова: вертикально осевая ВЭУ, лопасть, изменяемая геометрия лопасти ветроколеса.

VARIABLE GEOMETRY BLADE FOR VERTICALLY AXIAL WIND POWER POWER INSTALLATIONS

Annotation: It is shown that the choice of impeller type depends on the choice of the type and number of blades. The dependence of wind turbine performance on the geometric parameters of the wind wheel, in particular on its blade, is also shown. A description of the developed blade with variable geometry for vertical-axis carousel-type wind turbines is given.

Key words: vertical axis wind turbine, blade, variable geometry of the wind wheel blade.

Эксплуатационные показатели ветровой энергетической установки (ВЭУ) - коэффициенты использования установленной мощности и удельной выработки, т.е. выработанной энергии, отнесенной к площади ометаемой поверхности ветроколеса, относятся к основным критериям. У ВЭУ, коэффициент использования установленной мощности может находиться в пределах от 20 до 30 процентов, в зависимости от установленной мощности, скорости и постоянства ветра. Второй эксплуатационный показатель является обобщенной характеристикой ВЭУ, условий его работы и эксплуатации [1,2].

Для улучшения стартовых показателей ВЭУ необходимо выбрать наиболее эффективный тип ветроколеса, которое в свою очередь зависит от типа и аэродинамических характеристик лопастей. Для условий горной местности с турбулентными потоками, частыми изменениями направления ветра, наиболее подходящим могут быть вертикально осевые ВЭУ карусельного типа. В отличие от других типов вертикально осевых ветроэнергетических установок (ВО ВЭУ) помимо прочих преимуществ дают

возможность снижения влияния температуры воздуха и атмосферного давления за счет внешнего контура лопастей выполняющих функцию направляющих.

В процессе разработки ветротурбины с вертикальной осью крайне важно оптимизировать аэродинамические характеристики лопастей [1,2,3].

В данной работе для повышения производительности ВЭУ предлагается лопасть с изменяемой геометрии т.е. с изменяемой хордой.

Производительность ветротурбины зависит от его аэродинамических характеристик

$$C_p = f(Z),$$

где C_p - коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ);
 Z – быстроходность, задаётся значение от нуля до синхронной Z_{max} .

После определения коэффициента использования энергии ветра C_p соответствующие заданным числом модулей Z , значение выходной мощности ветротурбины P , можно определить по формуле:

$$P = \frac{1}{2} \rho V_0^3 2RhC_p \eta \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; R и h – радиус и высота ветроколеса соответственно, м; V_0 – скорость ветра, м/с; η – КПД ветротурбины.

Значение коэффициента использования энергии ветра C_p и быстроходности Z зависят от плотности ротора σ которое определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{N_b c}{R} \quad (2)$$

где N_b – количество лопастей, шт.; c – хорда лопастей, м.

Здесь, хорда c может быть выражена как функция плотности, радиуса ротора R и числа лопастей N_b , по формуле 2:

$$c = \frac{\sigma_{срmax}}{N_b} R \quad (3)$$

Для вертикально-осевых ветроэнергетических установок прочность ротора зависит от количества лопастей N_b , хорды b аэродинамического профиля и радиуса R ротора. Отношение скорости кромки лопасти, является функцией угловой скорости, скорости невозмущенного ветра и радиуса ротора.

Выбор радиуса R ротора вычисляется из соотношения $1,5 \cdot R > L > 4b$, такие данные взяты из соображений прочности компонентов и минимизации влияния индуктивного сопротивления [2,3].

Учитывая вышесказанное, оптимальный размер внешней части открылка, выступающей за пределы корпуса лопасти, составляет 1-15% хорды b_1 аэродинамического профиля, образованного корпусом лопасти и внешней частью открылка при максимально выдвинутом положении, т.к. при больших

значениях радиус R ротора увеличивается, а соотношение сторон ветротурбины (AR), определяемое как отношение высоты лопасти к радиусу ротора ($AR = h/R$), уменьшается, как следствие коэффициент мощности увеличится, а скорость вращения ротора, наоборот, упадет.

Поставленная задача решается тем, что лопасть ветродвигателя, содержащая корпус лопасти, который со стороны своего корневого сечения жестко закреплен на ступице ротора ветродвигателя, а со стороны концевого сечения снабжен открывком, содержащим аэродинамическую поверхность переменного сечения с аэродинамическим профилем см. рис. 1,2 и 3.

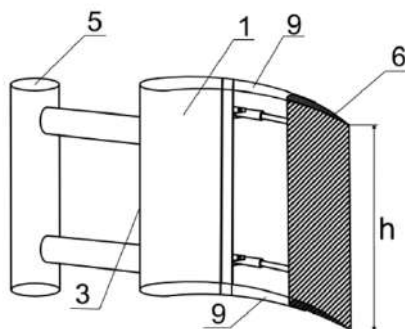


Рис. 1 - Вид устройства со стороны рабочей поверхности лопасти

На рисунках 2 и 3 изображен продольный разрезы устройства в развернутом и свернутом положении.

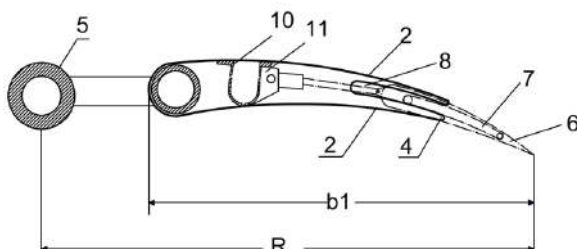


Рисунок 2 - Продольный разрез устройства

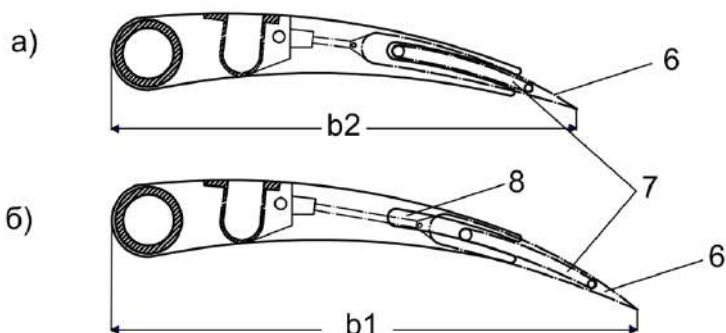


Рисунок 3 - Продольные разрезы лопасти: а – при исходном положении открывка; б – при перемещении открывка.

На рисунках показаны корпус 1 лопасти и его криволинейные образующие 2, корневое 3 и концевое 4 сечения соответственно, ступица 5 ротора ветродвигателя, открывком 6 с продольными выступами 7, пазы 8 торцов

9 корпуса 1 лопасти, несущий элемент 10, элементы 11, соединяющие несущий элемент 10 и открылок 6.

Также на рисунках указаны следующие обозначения:

b1 – хорда аэродинамического профиля, образованного корпусом лопасти и внешней частью открылка, при максимально выдвинутом открылке;

b2 – хорда аэродинамического профиля, образованного корпусом лопасти и внешней частью открылка, при исходном положении открылка;

R – радиус ротора;

h – высота лопасти.

Принцип действия. Корпус 1 лопасти выполнен полым и образован аэродинамической поверхностью переменного сечения, набранной из одного или более аэродинамических профилей (на чертежах не показаны), соединенных криволинейными образующими 2.

Корневое 3 и концевое 4 сечения корпуса 1 лопасти ориентированы без поворота относительно друг друга, причем корпус 1 со стороны корневого сечения 3 жестко закреплен на ступице 5 ротора ветродвигателя, а со стороны концевого сечения 4, выполненного в виде сквозного отверстия, снабжен открылком 6.

В торцах 9 корпуса 1 организованы пазы 8, которые выполнены открытыми со стороны концевого сечения 4 корпуса 1.

Открылок 6 содержит аэродинамическую поверхность переменного сечения с аэродинамическим профилем и его торцы снабжены продольными выступами 7, выполненными с возможностью перемещения в обращенных к ним пазах 8 торцов 9 корпуса 1.

Открылок 6 со стороны своего корневого сечения жестко соединен с помощью элементов 11 с несущим элементом 10, расположенным в полости корпуса 1, и выполнен с возможностью возвратно-поступательного перемещения в полости корпуса 1 и через концевое сечение 4 корпуса 1, при котором продольные выступы 7 открылка 6 перемещаются вдоль соответствующих пазов 8 торцов 9 корпуса 1.

При воздействии потока ветра на рабочую поверхность лопасти происходит вращение лопастей относительно оси ротора.

С целью повышения КПД ветроэнергетической установки, например при старте ветротурбины или при скоростях ветра ниже 4 м/с, с помощью элементов 11 перемещают открылок 6 в полости корпуса 1 и через концевое сечение 4 за пределы корпуса 1, при этом продольные выступы 7 открылка 6 перемещаются вдоль соответствующих пазов 8 торцов 9 корпуса 1, таким образом за счет

увеличения площади поверхности лопасти повышается аэродинамическая эффективность устройства.

Чтобы уменьшить площадь поверхности лопасти, открылок 6 с помощью элементов 11 перемещают через концевое сечение 4 в полость корпуса 1.

Технический результат, проявляющийся при решении поставленной задачи, выражается в улучшении эксплуатационных характеристик в силу следующих факторов [4]:

- повышение аэродинамической эффективности благодаря возможности изменения площади поверхности лопасти при сохранении аэродинамического профиля;
- повышение устойчивости устройства к порывам ветра из-за увеличенной толщины лопастей;
- более стабильное вращение ротора за счет увеличения его момента инерции;
- возможность применения на ветроэнергетических установках как с горизонтальной, так и с вертикальной осью вращения.

Заключение

Техническое решение применение лопастей с изменяемой геометрией может повысить производительность вертикально осевых ВЭУ в заданных условиях эксплуатации. Для технико – экономической оценки предлагаемой решения требуется проведения дополнительных исследований, что требует наличие соответствующих условия для проведения. На базе кафедры «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими подготовлено опытный образец ВО ВЭУ и планируется проведения натурных испытания.

Литература

1. Твайделл, Дж., Возобновляемые источники энергии/Твайделл Дж., Уэйр А.// пер. с англ. –М.: Энергоатомиздат. 1990. -392с.
2. Фатеев Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки. – М.: Сельхозгиз, 1957. – 536с
3. Горелов Д.Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения. – Омск: Полиграфический центр КАН, 2012. – 68 с.
4. Рахимов, Ф.М. Пат. 208745 Российская Федерация. МПК F03D 5/00 (2006.01) Лопасть ветродвигателя/ Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, А.К. Киргизов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2021122913 от 02.08.2021г. Бюл. №2 опубл. 11.01.2022г.

Сведения об авторе:

Рахимов Ф.М. – ст. преподаватель кафедры «Электрические станции», Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими. г. Душанбе

ЗАХИРАҶОИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Пирова Ш.Ҳ.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба нои академик М.С. Осими

«Об рӯшноӣ аст» - меғӯяд мардуми мо. Об – яке аз захираҳои асосии энергетикӣ ба шумор меравад. Захираҳои обии энергетикӣ яке аз манбаҳои асосӣ, на фақат дар иқтисодиёт, балки асоситарин элементи табиат ва ҳаёт ҳисоб меёбад.

Захираҳои гидроэнергетикии мамлакат хело бузург буда, ҳаҷми он тахминан 40000 МВт – ро ташкил медиҳад, вале имконпазирии (потенциали) энергетикии он – 527 млрд. кВт*соат ҳамагӣ 10 % аз худ карда шудааст.

Фақат як соҳаи электроэнергетика наздики 5 % маҷмӯи маҳсулоти дохилро (ММД) истеҳсол мекунад, ки ин хело ҳам зиёд буда, энергияи электрикӣ воридоти муҳимтарину асосии ду маҳсулоти муҳими ҷумҳурӣ – алюминий ва пахта мебошад. Дар баробари ин соҳа имконияти хело қавии мусоидат ба рушд тавассути содироти энергияи электрикӣ ба мамлакатҳои Осиёи Марказӣ ва берун аз онро дорад.

Кишвари мо дорои зиёда аз 570 дарёи хурду калон буда, аз ин дарёҳо соли 82 миллиард мукаабметр об чорӣ мешавад. Ба ҳар километри мураббаи ҳудуди ҷумҳурӣ 2 миллиону 100 ҳазор киловатт – соат энергияи барқ рост меояд. Аз ин бар меояд, ки Тоҷикистон дар ҷаҳон яке аз мамлакатҳои бойтарини захираҳои обии энергетикӣ ба шумор меравад.

Ҷадвали 1

Миқдору масоҳат ва ҳаҷми пиряхҳои Тоҷикистон

№	Ҳавзаи дарё	Миқдори пирях	Майдони яхистон, км ²	Ҳаҷми ях, км ³
1	Қаратоғ	83	31,7	0,7
2	Кофарниҳон бо Душанбе	327	106	2,5
3	Зарафшон	1272	708,5	36,9
4	Обихингов	756	712,4	41,7
5	Сурхоб	676	401,1	16,8
6	Муқсу	1004	2094,9	248,3
7	Ҳавзаи шохобҳои рости дарёи Панҷ аз резишгоҳи дарёи Вахш то резишгоҳи дарёи Ванҷ	103	53,0	1,5
8	Ванҷ	292	353,9	23,3
9	Язғулом	269	313,0	16,7
10	Бартанг	969	1082,9	80,4
11	Мурғоб	879	560,6	18,9
12	д. Маркансу ва к. Қарокул	627	544,5	30,5
13	Ғунд бо Шохдара	1349	634,2	22,9

14	Болои дарёи Панҷ (аз резишгоҳи Ғунд боло)	451	383,4	17,1
15	Шохобҳои рости Панҷ дар байни резишгоҳҳои Язғулом, Бартанг ва Ғунд	82	44,8	1,2
Ҷамағӣ		9139	8024,9	559,4

Ҷадвали 2

Захираҳои энергетикӣ обии дарёҳои бузург, км³.

Номгӯи дарё	Ҳаҷми миёнаи бисёр-солаи об.	Аз он ҷумла дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳосил мегардад.	Обгир	Ҳаҷми истифодашавандаи об.	Талафот
Панҷ	33,4	17,1	1,97	1,5	0,47
Вахш	20,2	18,3	4,6	3,5	1,10
Кофарниҳон	5,1	5,1	2,5	1,95	0,55
Қаратоғ	1,0	1,0	0,64	0,38	0,26
Заравшон	5,3	5,1	0,43	0,4	0,03
Сирдарё	15,0	0,8	2,96	2,6	0,36
Ҷамъ:	80,0	47,4	13,10	10,33	2,77

Ҷадвали 3

Потенсиали ҳидроэнергетикӣ дарёҳои Тоҷикистон.

Дарё	Тавоноии миёнаи солона, МВт	Энергияи миёнаи солона, ТВт.	Миқдор аз ҳаҷми умумӣ, %
Панҷ	14030	122,90	23,2
Ғунд	2260	19,80	3,73
Бартанг	2969	26,01	4,93
Ванҷ	1191	10,34	1,96
Язғулом	845	7,40	1,39
Қизил-Сой	1087	9,52	1,78
Вахш	28670	251,15	48,00
Кофарниҳон	4249	37,22	7,00
Кӯли Қара-Кӯл	103	0,90	0,17
Сурхон-Дарё	628	5,50	1,03
Зарафшон	3875	33,94	6,38
Сир-Дарё	260	2,28	0,43
Ҷамъ:	60167	527,06	100,00

Захираҳои гидроэнергетикии минтақаҳои ҷумҳурӣ

Минтақа	Потенциалӣ (иктидорӣ)		Имконпазири техникӣ		Иқтисодӣ	
	N МВт.	Э млрд.кВт·с.	N МВт.	Э млрд.кВт·с.	N МВт.	Э млрд.кВт·с.
Суғд	1288.0	11.28	450.8	3.948	450.8	3.948
Ноҳияҳои тобеъи марказ ва вилояти Хатлон	16056.0	140.65	5619.6	49.2275	5619.6	49.2275
ВМКБ	3713.0	32.53	742.6	6.506	742.6	6.506
Ҳамагӣ дар Тоҷикистон	21057.0	184.46	6813	59.6815	6813	59.6815

Аз ҷадвал дида мешавад, ки захираҳои энергетикӣ обии дарёҳои кишвар бузург буда, имконияти бунёди НБО-и зиёд ҷой дорад.

Мавриди қайд аст, ки доир ба миқдори умумии пирияхҳои Тоҷикистон, ки асоси захираҳои обии кишвар мебошанд, дар ҷадвали 1.14 маълумот диҳем.

Ҳамин тавр, ҳаҷми ях дар пирияхҳои Тоҷикистон 559,4 километри мукааб мебошад. Агар ин миқдор ях ба об баргардонида шавад, он 503,5 километри мукааб обро ташкил мекунад.

Адабиёт

1. Абдуллаева Ф. С., Баканин Г. В. и др. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР. Недр. Ленинград, 1965г.

2. Гидроэнергетика: Учебник для вузов / А.Ю. Александровский, М.И. Кнеллер, Д.Н. Коробова и др.; Под ред. В.И. Обрезкова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988. 512 с.:

Маълумот дар бораи муаллиф

Пирова Шамсия Ҳотамовна – муллими калони кафедраи неругоҳҳои электрикӣ

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГЭС В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Раджабов М.Ш., Хабибов О.С., Рахимов Б.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Султонзода Ш.М.

ТТУ имени академика М.С. Осими

***Аннотация:** ГЭС является экологически чистыми объектами по сравнению с тепловыми электростанциями, сжигающими кислород, дорогостоящего топлива и выбрасывающими в атмосферу окислы серы, азота и другие вредные для человека микроэлементы. Вследствие маневренного качества ГЭС в отношении быстро набора электрической нагрузки в пиковых режимах и при необходимости сброса нагрузки повышается устойчивость работы энергосистем и представляется возможность эксплуатировать тепловые и атомные электростанции в оптимальных для них режимах.*

***Ключевые слова:** гидроэлектростанция, энергетическая система, выработка электроэнергии, каскады ГЭС.*

PRINCIPLES OF MANAGEMENT OF HYDRO POWER PLANT MODES IN THE ENERGY SYSTEM

***Abstract:** Hydroelectric power stations are environmentally friendly objects compared to thermal power plants that burn oxygen, expensive fuel and emit oxides of sulfur, nitrogen and other microelements harmful to humans into the atmosphere. Due to the maneuverable quality of hydroelectric power plants in relation to the rapid increase in electrical load in peak modes and, if necessary, load shedding, the stability of the operation of power systems increases and it becomes possible to operate thermal and nuclear power plants in their optimal modes.*

***Keywords:** hydroelectric power station, energy system, electricity generation, hydroelectric power station cascades.*

Гидроэлектростанции являются особым энергетическим объектом и по сравнению с тепловыми станциями имеют ряд неоспоримых преимуществ. Они играют большую роль в повышении экономичности и надежности энергоснабжения, хотя в большинстве энергосистем доля ГЭС существенно меньше, чем тепловых станций. Остановимся на этих преимуществах.

1. Гидроэлектростанции вытесняют из баланса ТЭС, и это дает большую экономию органического топлива, причем в основном, газо-мазутного, поскольку они работают в пиковой части графика нагрузки.

2. Себестоимость производства электроэнергии на ГЭС в 5-10 раз меньшая, чем на ТЭС. Это объясняется отсутствием затрат на приобретение и хранение топлива, меньшими расходами электроэнергии на собственные нужды станции (примерно на порядок), низким процентом амортизационных отчислений, меньшими затратами на проведение всех видов ремонтов, более высокой производительностью труда, меньшими удельными показателями численности обслуживающего персонала и др.

3. ГЭС работает в переменной части графика нагрузки и позволяет работать тепловым станциям в полупике и базе графика нагрузки. Это дает экономию топлива и повышает надежность тепловых станций.

4. ГЭС играет большую роль в управлении Объединенными и Единой энергосистемами. Она является оперативным резервом, на ней установлены комплексы противоаварийной автоматики и другой системой автоматика.

5. ГЭС являются специальным источником реактивной мощности. Агрегаты гидростанций легко переводятся из режима генератора в режим синхронного компенсатора и обратно, и это позволяет иметь в системе мобильный и достаточно крупный источник реактивной мощности.

6. ГЭС повышают надежность водохозяйственных систем, обеспечивая их работу необходимыми водными ресурсами в катастрофически маловодные годы.

7. ГЭС по сравнению с другими станциями является экологически чистым объектом. Нет загрязнения окружающей среды и штрафов за превышение установленных норм допустимого загрязнения.

8. ГЭС является «комфортным» объектом для обслуживающего персонала.

Их недостатками являются большая капиталоемкость в период строительства и длительные сроки сооружения.

Одной из важных особенностей функционирования гидроэлектростанций (ГЭС) является использование ими ограниченных емкостей водохранилищ для хранения гидроэнергоресурсов. Использование ограниченных объемов воды для производства электроэнергии в тот или иной интервал времени влияет как на распределение объемов выработки электроэнергии в последующие интервалы периода регулирования, так и на суммарную выработку станции.

Задача управления режимами ГЭС очень сложна. Гидроэнергетические ресурсы ГЭС изменяются в широких пределах, и их рациональное использование зависит от величины стока, гидрографа реки, требования энергосистемы к ГЭС, технологического процесса режима оборудования и многих других факторов. Оптимальное управление режимами ГЭС осуществляется в условиях неполноты и недостаточной достоверности исходной информации. Имеются элементы случайности в формировании естественного режима стока, графики нагрузки системы, в значениях располагаемых мощностей, в составе работающего оборудования электростанций и используемых энергетических ресурсов [1,3].

Гидроэнергетические ресурсы ГЭС изменяются в широких пределах, для многих станций до 20-30% и их рациональное управление зависит:

1. от величины стока, его изменчивости, схемы его использования и гидрографа реки;
2. требований энергосистемы к ГЭС;
3. технологического процесса режима оборудования и многих технических особенностей ГЭС.

Управление режимами ГЭС в условиях жестких водохозяйственных ограничений, приводит к дополнительным затруднениям. В водохозяйственных системах по мере их развития обычно требования возрастают, и энергетическая значимость гидроузла уменьшается. Это приводит к дополнительным трудностям в управлении режимами водохранилищ ГЭС.

Составим уравнения гидравлической связи для примера каскада из трех ГЭС. В каждом расчетном интервале времени можно составить уравнения гидравлической связи между вышележащей ГЭС и ГЭС, расположенной ниже [1,6]. В этом случае это уравнения связи между ГЭС I и II, II и III.

$Q_I^{быт}$, $Q_{II}^{быт}$, $Q_{III}^{быт}$ – приточность в водохранилище каждой из ГЭС, Определяем расходы проточности без потери воды в водохранилище.

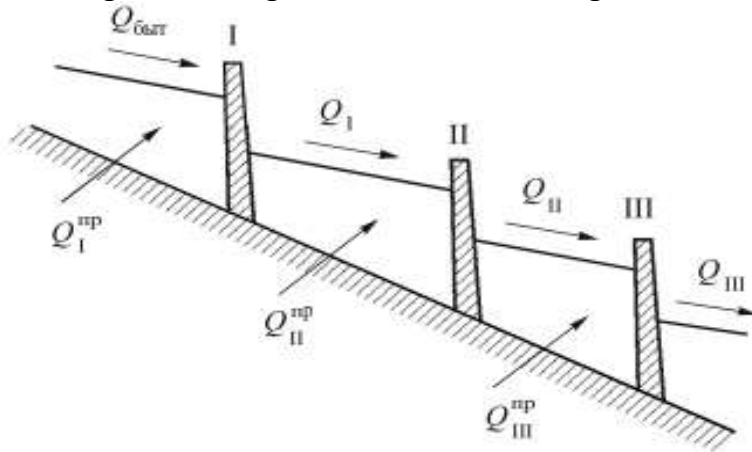


Рис. 1. Схема каскада ГЭС

Учитывая время добегания расходы воды при составлении уравнение гидравлической связи от вышележащей к нижележащей ГЭС. Тот расход, который в момент t приходит к ГЭС II, будет зависеть от расхода станции I в момент $t = t^i - t_{доп.II}$. Для ГЭС III будет также сдвиг по времени и $t^{II} = t^i - t_{доп.III}$. Расходы каждой ГЭС с учетом связей по времени будут:

$$Q_{It}^{быт} = Q_I^{быт} + Q_{It}^{пр} + Q_{It}^B \quad (2.2)$$

$$Q_{II t}^I = Q_I + Q_{II t}^{Iпр} + Q_{II t}^{I B} \quad (2.3)$$

$$Q_{III t}^{II} = Q_{II t}^I + Q_{III t}^{IIпр} + Q_{III t}^{II B} \quad (2.4)$$

При решении уравнения (2.2), (2.3) и (2.4) получим уравнения гидравлической связи:

$$Q_{II t}^I = Q_I^{быт} + (Q_{It}^{пр} + Q_{II t}^{Iпр}) + (Q_{It}^B + Q_{II t}^{I B}) \quad (2.5)$$

$$Q_{III t}^{II} = Q_I^{быт} + (Q_{It}^{пр} + Q_{II t}^{Iпр} + Q_{III t}^{IIпр}) + (Q_{It}^B + Q_{II t}^{I B} + Q_{III t}^{II B}) \quad (2.6)$$

Гидростанции одного каскада могут в различные энергетические системы. В режим каскада в значительной степени влияют также водохозяйственные требования, которые задаются в виде ограничение на расходы в нижнем бьефе, уровни верхнего и нижнего бьефов.

Управлений режимами водохранилищ каскада ГЭС

Весьма сложной задачей является задача оптимизации режимов работы каскадов водохранилищ ГЭС комплексного использования стока. Здесь

возникают сложности с учетом требований неэнергетических участников водохозяйственного комплекса (водный транспорт, рыбное и сельское хозяйство, водоснабжение и т. д.). Учет их требований с помощью так называемой системы ограничений (по расходам и уровням нижнего бьефа, уровням верхнего бьефа, амплитуде колебаний уровней и т. д.) приводит к возрастанию числа вариантов расчетов при разных ограничениях. Кроме того, возникают трудности оценки некоторых ограничений (рыбное и сельское хозяйство).

Задача оптимизации режимов ГЭС по заданному гидрографу с дискретным временем (или точное синтеза водохранилищами ГЭС) в математической форме сводится к задаче нелинейного программирования.

В качестве целевой функций рассматриваемые суммарный доход от эксплуатации всего каскада водохранилища ГЭС

$$D(Z') = \sum_{j=1}^N \sum_{n=1}^m D(Z_n^{i-1}, Z_n^i), i = \overline{1, N}$$

где: N- количество расчётных интервалов времени, m- количество водохранилищ, Z'_n - уровень верхнего бьефа j-го водохранилища ГЭС на конец i-го интервала.

В качестве независимых переменных Z_n^i можно выбрать и другие режимные параметры водохранилищ. Например Q_n - расход воды из водохранилища, W_n - объем воды в водохранилище, поскольку все эти параметры функционально связаны. При оптимизации учитываются динамические ограничения в форме неравенство (на качаемых различными воспользователями)

$$Z_{n \min}^i \leq Z_{n \max}^i, i = \overline{1, N}, n = \overline{1, m}$$

$$Q_{n \min}^i \leq Q_n^i \leq Q_{n \max}^i, i = \overline{1, N}, n = \overline{1, m}$$

$$\sum_{n=1}^m \mathcal{E}'_{n \min} \leq \sum_{n=1}^m \mathcal{E}'_n \leq \sum_{n=1}^m \mathcal{E}'_{n \max} \quad i = \overline{1, m}$$

Кроме того, для всех водохранилищ ГЭС задаются объемы (и соответствующие уровни) водохранилищ на начало первого и конец последнего расчётного интервала, на пример в форме равенств.

$$W_n(0) = W_n(N), n = \overline{1, m}$$

Эффективность решения каждой конкретный оптимизационной задачи в целом определяется принятым оптимизационным методом и методом учета ограничений в форме равенств и неравенств.

Заключение

ГЭС имеет ряд преимуществ, которых нет на других видов электростанций. Одним из способов использования энергии рек является каскадное использование ГЭС. Каскадное использование водных ресурсов позволяет эффективно использовать каждый кубометр воды и тем самым повисит выработку электроэнергии на ГЭС.

В проведенных исследований получена система уравнений, описывающих динамические связи всех каскадов водохранилище.

Основная задача уравнения каскадом водохранилищ заключается в удовлетворении требований всех потребителей с максимальными доходами.

Литература

Филиппова Т.А., Мисриханов М.Ш., Сидоркин Ю.М., Русина А.Г. Гидроэнергетика: учеб. пособие. Изд. 3-е, перераб. Н.: Изд. НГТУ, 2013, 620 с.

Цветков Е.В., Алабышева Т.М., Парфенов Л.Г. Оптимальные режимы электростанций в энергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 304 с..

Гидроэнергетика: Учебник для вузов / Под ред. В.И. Обрезкова. - М.: Энергоатомиздат, 1988.-232 с.

Сведения об авторах

Раджабов М.Ш. – докторант PhD кафедры «Электрические станции», Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Хабибов О.С.– магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Рахимов Б.С. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

СЕКЦИЯ – 3

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

К ПРОЦЕССУ СУШКИ В ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ

Бадалов А.А., Бадалова Д.А.

(Ташкентский государственный технический университет,
г.Ташкент, Узбекистан.)

e- mail: badalov_a@yahoo.com

Аннотация. Рассмотрены возможности оптимизации сушки дисперсных материалов в аппаратах со встречными закрученными потоками. Приведено уравнение для определения движения частицы переменной массы в сушильном аппарате и диаметра улавливаемых частиц.

Ключевые слова: сушка, частица, закрученные потоки.

TO THE DRYING PROCESS IN SWIRLING STREAMS

Abstract. The possibilities of optimizing the drying of dispersed materials in apparatuses with counter swirling flows are considered. An equation is given for determining the movement of a particle of variable mass in a dryer and the diameter of the trapped particles.

Key words: drying, efficiency, particle, swirling flows.

Одним из наиболее эффективных методов контактирования высушиваемого материала с теплоносителем является организация взаимно—действия двух закрученных потоков [1]

Исходя из этого, актуальным является выбор параметров процесса сушки и режимов, обеспечивающих интенсификации процессов тепло- и массообмена в аппаратах со закрученными потоками [2).

От оптимальной организации процесса сушки зависит не только качество высушенного материала, но и обеспечение минимальных удельных затрат тепла и электроэнергии [3,4].

Нами разработан, изготовлен и исследован аппарат для сушки дисперсных материалов с одновременным их улавливанием во встречных закрученных потоках.

Аппарат состоит из цилиндрического корпуса с кольцевым разрывом. В нижней части корпуса расположен патрубок с завихрителем для ввода и закрутки основного потока теплоносителя. В верхней части находится газоподводящее устройство для дополнительного потока теплоносителя и выхлопной патрубок для отработанного газа. В месте кольцевого разрыва установлена вихревая камера для предварительной подсушки влажного материала.

Учитывая, что процессы движения и сушки частиц материала взаимосвязаны, авторами предварительно выражения компонент скоростей газа и материала при движении газозвеса в аппаратах со встречными закрученными потоками. Для этого рассматривались уравнения Эйлера и уравнение неразрывности в цилиндрической системе координат при некоторых упрощающих допущениях [3].

Для радиальных, осевых и тангенциальных компонент скорости газа получены следующие зависимости:

$$W_r = \frac{L_2 (K-1)}{\pi r_k^4 H^{k+1}} r \left(r_k^2 - \frac{r^2}{2} \right) (H-Z)^k$$

$$W_z = \frac{r_k^2 - r^2}{\pi} \left[L_1 + L_2 - \frac{2 L_2 (H-Z)^{k+1}}{r_k^4 \cdot H^{k+1}} \right]$$

$$W_\phi = C (2r_k^2 - r^2)^{\frac{n-1}{4}} \cdot r^{\frac{n-1}{2}} \left(\frac{L_1 + L_2}{2} - \frac{2 L_2 (H-Z)^{k+1}}{\pi \cdot r_k^4 \cdot H^{k+1}} \right)$$

где H — высота аппарата; L_1, L_2 — расход основного и дополнительного теплоносителя; r, r_k , — текущая и «критическая» радиальные координаты; Z — осевая координата; C, n, K — коэффициенты.

Для описания движения частицы переменной массы в сушильном аппарате, использовалось уравнение Мещерского:

$$M \frac{d\vec{v}}{d\tau} + (\vec{W}' - \vec{V}) \frac{dM}{d\tau^*} + \sum \vec{F}$$

где M — переменная масса частицы; $\frac{d\vec{v}}{d\tau}$ — вектор ускорения; $\sum \vec{F}$ — вектор равнодействующих всех сил, которые действуют на движущуюся частицу.

Учитывая, что относительная скорость пара $(\vec{W}' - \vec{V})$ мала по сравнению со скоростью частицы, запишем уравнение движения частицы:

$$\rho_m (1 + u) \frac{d\vec{v}}{d\tau} = \rho_m (1 + u) \vec{g} + \frac{4}{3} \xi \frac{\rho_\Gamma f_\phi}{d} |\vec{W}' - \vec{V}| |\vec{W}' - \vec{V}| - \frac{\vec{T}}{\pi d^3}$$

где \vec{T} — сила трения частицы о стенку, ρ_m и d — плотность и диаметр частицы, ξ и f_ϕ — коэффициенты лобового сопротивления и формы частицы.

Представленная зависимость совместно с уравнением кинетики сушки, уравнениями кинетики изменения массы и диаметра частиц и известными корреляциями для коэффициентов лобового сопротивления и формы частиц полностью описывает сушку летящей частицы в аппарате со встречными закрученными потоками.

Полученные уравнения использованы для расчёта на ЭВМ траектории движения, времени пребывания твёрдых частиц материала в аппарате и конечного влагосодержания материала.

Экспериментально определялось время пребывания материала в сушилке в зависимости от расхода и температуры теплоносителя. Одновременно оценивалась улавливающая способность аппарата и его гидравлическое сопротивление.

Эксперименты проводились в непрерывном режиме работы аппарата.

Полученная математическая модель позволила определить оптимальные параметры процесса сушки.

Установлено, что по параметрам процесса сушки не совпадает с минимумом по гидравлическому сопротивлению и максимумом улавливающей способности сушилки. Найдена область, где расход энергий на сушку и улавливание является минимальным. При этом обеспечивается степень улавливания высушенного материала не ниже, чем у лучших циклонных пылеуловителей.

Заключение

Хорошая гидродинамическая устойчивость аппарата, активный гидродинамический режим, позволяющий сократить время сушки материалов со свободно связанной влагой в несколько раз по сравнению с применяемыми сушилками, отсутствие уноса и перегрева материала, а следовательно, сохранение высокого качества высушенного продукта делают аппарат перспективным для сушки дисперсных материалов в химической и смежных с ней областях промышленности.

На основе проведенных исследований авторами разработана методика расчёта сушильных аппаратов со встречными закрученными потоками.

Литература

1. Сажин Б.С., Чувпило Е. А. Типовые сушилки со взвешенным слоем материала. Обзорная информация. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1975.
2. Голубев Л.Г., Сажин Б.С., Валашек Е.Р. Сушка в химико-фармацевтической промышленности. - М.: Медицина, 1978. – 727 с.
3. Сажин Б.С., Шадрин Н.Е. Выбор и расчет сушильных установок на основе комплексного анализа материалов как объекта сушки.–М.:МТИ.
4. Мухиддинов Д.Н. Теория выбора сушильных аппаратов взвешенного слоя. – Изв. АН УзР, № 3, 1989.
5. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. М.: Наука, 1997.

Сведения об авторах:

Бадалов А.А. – доцент кафедры «Энергосбережение и энергоаудит», Таш ГТУ имени И.А. Каримова.

Бадалова Д.А. – старший преподаватель кафедры «Энергосбережение и энергоаудит», Таш ГТУ имени И.А. Каримова.

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВОЙ ЖИДКОСТИ В ДЕМПФЕРЕ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Бородина О.Ю.

Научный руководитель – д.т.н. Глушков С.П.
Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Россия
E-mail: Borodinaoyu@mail.ru

Аннотация: В работе представлен анализ изменения количественного содержания полиметилсилоксановой жидкости в демпфере судовой энергетической установки в зависимости от часов наработки СЭУ.

Ключевые слова: силиконовый демпфер, демпфирование, полиметилсилоксан, механохимические методы, механодеструкция, деструкция, вязкость, механическая обработка, молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, полидисперсность.

CHANGING THE QUANTITATIVE CONTENT POLYMETHYLSILOXANE LIQUID IN THE DAMPER OF A MARINE POWER PLANT

Annotation: The paper presents an analysis of changes in the quantitative content of polymethylsiloxane liquid in the damper of a ship power plant depending on the operating hours of the power plant.

Keywords: silicone damper, damping, polymethylsiloxane, mechanochemical methods, mechanical destruction, destruction, viscosity, mechanical processing, molecular weight, molecular weight distribution, polydispersity.

Теоретический анализ, а также поиск практических способов гашения крутильных колебаний в судовых валопроводах, является давней научно-технической проблемой, не потерявшей актуальности и значения в настоящий момент. С целью гашения возникающих крутильных колебаний судовой энергетической установки (СЭУ) широко применяют жидкостные силиконовые демпферы (СД), заполненные полиметилсилоксановой жидкостью (ПМС-Ж).

Исследованием характеристик ПМС-Ж в СД на кафедре СЭУ СГУВТ [1] послужил фактический случай поломки коленчатого вала главного дизеля 6NVD26-3 на судне типа «ОТ-600» проекта 1741А класса «Р» Российского квалификационного общества (РКО). Было назначено расследование причин аварии.

В ходе экспертной оценки при развальцовке корпуса демпфера были обнаружены внутри полости массы частиц похожие на элементарный кремний

(песок), полиметилсилоксановая жидкость (ПМС-Ж) внутри зазора развальцованного демпфера полностью отсутствовала. В основу изучения механической деструкции ПМС-Ж положены уже проведенные ранее научные экспериментальные данные [2] в которых сделан вывод о том, что отбор пробы и анализ качества ПМС-Ж нельзя считать информационным при определении работоспособности СД в составе СЭУ.

Исследования [2] преследовали также цель - определить влияние потери (уменьшения количества) наполнителя СД на демпфирующие характеристики. Испытания проводились на стенде при полном отсутствии наполнителя ПМС-Ж, и при полном заполнении ПМС-Ж демпфера. По полученным результатам сделаны выводы о том, что резкое снижение демпфирующих свойств начинается при 40% заполнении СД ПМС-Ж и ниже.

Следовательно, при проверке работоспособности СД по текущему состоянию ПМС-Ж следует обращать внимание не на качественные характеристики физико-химических показателей жидкости, а на количество самой ПМС-Ж в силиконовом демпфере.

Основываясь на уже проведенные ранее исследовательские работы на кафедре СЭУ СГУВТ продолжено дальнейшее изучение вопроса изменения количественного содержания ПМС-Ж в полости демпфера.

Механохимические методы активации химических процессов широко используются для механодеструкции органических высокомолекулярных соединений.

С целью моделирования процесса механической деструкции ПМС предложено использовать центробежно-планетарную мельницу ЭИ-150 воздушного охлаждения. В измельчителях этого типа барабаны совершают два вращения: вокруг оси барабана и вала привода.

Внутрь стаканов центробежно-планетарной мельницы поместили барабаны с корундовой футеровкой внутри которых помещены мелющие тела – корундовые диски (диаметр 40 мм, высота 5 мм). Скорость вращения барабанов вокруг собственной оси соответствует ~ 1200 об/мин.

На рис. 1 представлен внешний вид ПМС-Ж 10000 после проведения механообработки (МО) на центробежно-планетарной мельнице ЭИ-150.

В лаборатории ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии (ИХТТМ) СО РАН г. Новосибирск после механохимической активации полимера были проведены исследования ПМС-Ж на кинематическую вязкость и определение молекулярной массы - молекулярно-массовое распределение (ММР) полимера.



Рис. 1. Внешний вид жидкости ПМС-Ж 10 000 исходной (а) и после МО, мин: б – 3; в – 10; з – 20; д – 30

Для определения вязкости был использован ротационный реометр RheolabQC, марка испытуемой ПМС 10000. Параметры исследования жидкости: температура – от 20 до 125°C, скорость сдвига – 1000 с⁻¹, продолжительность механообработки составила – 10 минут, 30 минут.

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований

Тип	Механообработка, мин	Температурный режим испытаний, °С	Динамическая Вязкость, mPa·s	Кинематическая Вязкость, cSt	Плотность, г/см ³	Скорость сдвига, с ⁻¹
ПМС 10000_10	10	20	7407,7	7605,4	0,974	1000
		25	6889,4	7073,3		
		50	4551,3	4672,8		
		75	3108,8	3191,8		
		100	2177,1	2235,2		
		125	1232,0	1264,9		
ПМС 10000_30	30	20	7994,4	8207,8	0,974	1000
		25	7410,1	7607,9		
		50	4874,6	5004,7		
		75	3321,2	3409,9		
		100	2194,7	2253,3		
		125	1715,2	1734,3		

На рис. 2 и 3 представлены изменения вязкости от температуры при скорости сдвига 1000⁻¹ (МО = 10 минут и МО = 30 минут).

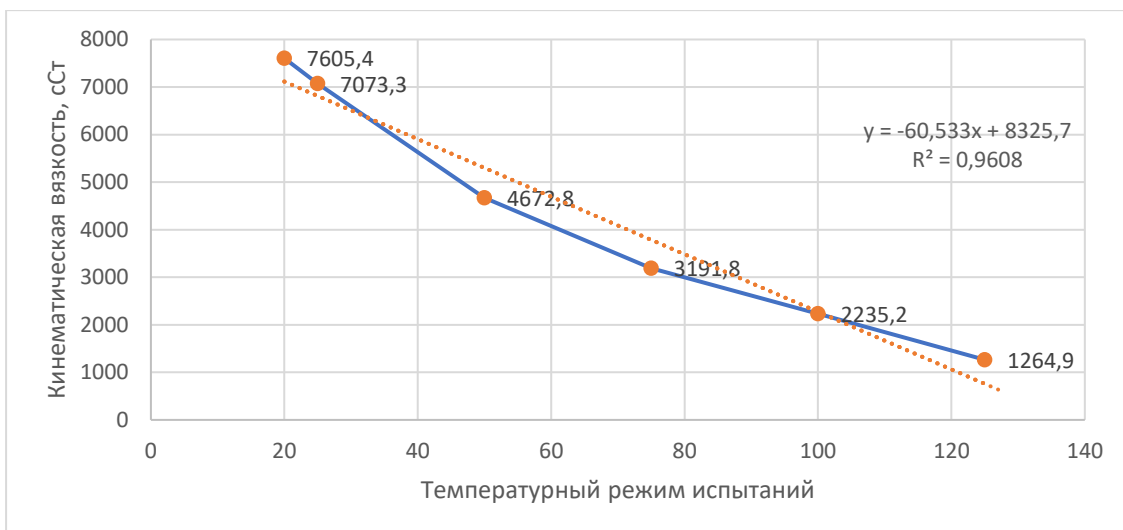


Рис. 2. Изменение кинематической вязкости от температуры при скорости сдвига 1000^{-1} ПМС-Ж (МО = 10 мин)

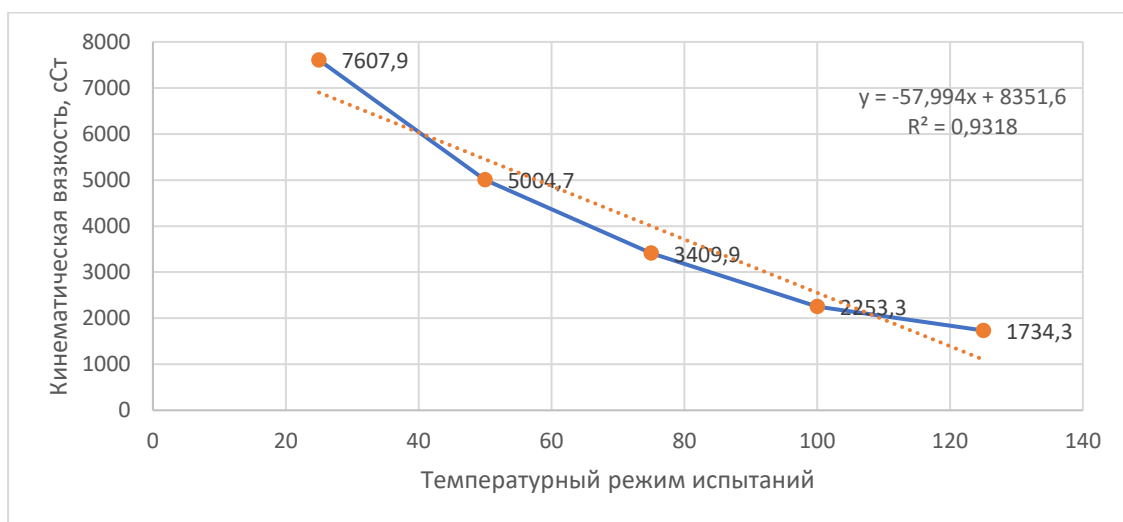


Рис. 3. Изменение кинематической вязкости от температуры при скорости сдвига 1000^{-1} ПМС-Ж (МО = 30 мин)

С помощью Excel, определено значение уравнения линии тренда проведенного эксперимента, коэффициенты корреляции для полученных зависимостей $R=0,9608$ и $R=0,9318$ соответственно.

Для определения молекулярно-массового распределения ММР применен жидкостный хроматограф Shimadzu lc20, марка ПСМ 10000.

Изучение ММР позволяет получить дополнительную информацию о механизмах образования и превращения макромолекул.

В результате полимеризации, подчиняющейся простым статистическим законам, обычно образуются полимеры с ММР, имеющим один максимум (унимодальное ММР), и отношением средневесовой молекулярной массы M_w к среднечисловой молекулярной массе M_n , близким к 2.

Если ММР полимера становится очень широким $M_w/M_n \geq 2$, то его физико-механические свойства, как правило, ухудшаются. Отношение M_w/M_n называется коэффициентом полидисперсности [3].

Графически на рис. 4 и 5 представлена функция распределения молекул по их молекулярным массам, которые изображены кривыми ММР, где по оси абсцисс показаны молекулярные массы, по оси ординат – доли полимерных фракций с соответствующими молекулярными массами.

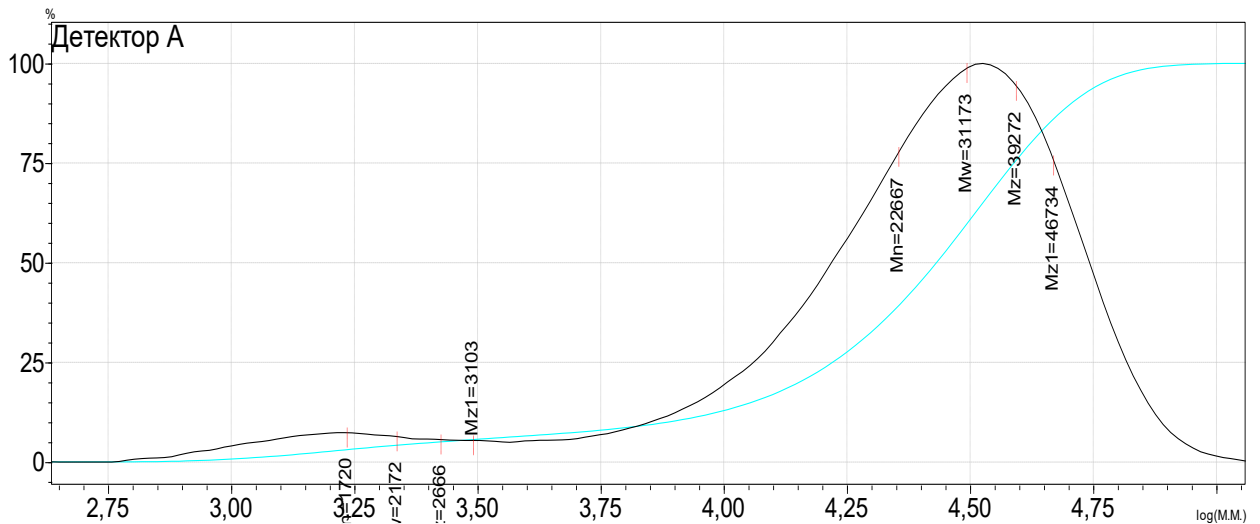


Рис. 4. Молекулярно-массовое распределение ПМС-Ж 10000 (МО =10 мин)

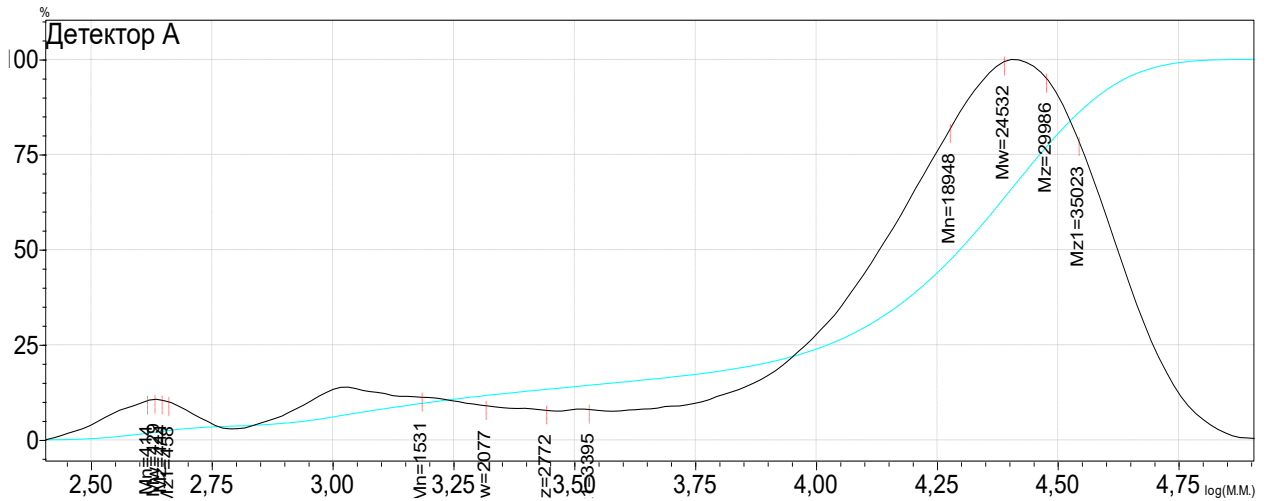


Рис. 5. Молекулярно-массовое распределение ПМС-Ж 10000 (МО =30 мин)

В таблице 2 представлены полученные значения после проведения МО, где M_n – среднечисловая молекулярная масса, M_w – средневесовая молекулярная масса, M_w/M_n – коэффициент полидисперсности, M_z и M_{z1} – молекулярные массы, определённые по касательной прямой в начале выхода полимера.

Таблица 2 Значения после проведения МО

№	(Mn)	(Mw)	(Mz)	(Mz1)	Mw/Mn	Mz/Mw	%
МО = 10 мин							
Всего	12202	29131	39080	46718	2,38736	1,34155	100,0000
1	22667	31173	39272	46734	1,37528	1,25982	92,9581
2	1720	2172	2666	3103	1,26275	1,22735	7,0419
МО = 30 мин							
Всего	4657	20766	29612	34984	4,45875	1,42599	100,0000
1	18948	24532	29986	35023	1,29466	1,22234	83,4910
2	1531	2077	2772	3395	1,35639	1,33433	12,9422
3	414	429	444	458	1,03580	1,03463	3,5668

Отношение M_w/M_n коэффициент полидисперсности после МО в течении 10 минут приобретает значение – 2,38736, после 30 минут МО и значение 4,45875, что значительно превышает 2,0. Из чего следует, что после проведения механической деструкции ПМС-Ж методом МО происходит разрушение мономера до предельного конечного значения M_w/M_n и как следствие образования соединений более низкой молекулярной массы: метана, формальдегида, включая конечный продукт деструкции – SiO_2 .

Заключение

Следует помнить, что процесс деструкции полимеров протекает с разрывом химических связей в макромолекулах и это в свою очередь неизменно приведет к уменьшению молекулярной массы полимера и изменению его строения. Результат эксперимента показал снижение вязкости ПМС-Ж в результате МО полимера на центробежно-планетарной мельнице в результате увеличения температурного режима испытания и скорости сдвига.

Вязкость зависит не только от химического состава и строения вещества, но и от молекулярной массы соединения.

Полученные значения изменения вязкости при МО можно принять за основу определения соответствия наработки часов эксплуатируемых судовых двигателей и времени проведения эксперимента.

Механохимическое преобразование ПМС-Ж в процессе фактической эксплуатации СД приводит к изменению количественного содержания ПМС-Ж в полости демпфера и как следствие к снижению демпфирующих свойств полимера, что привело к поломке коленчатого вала СЭУ.

Литература

1. Глушков С.П., Глушков С.С., Ярославцева А.С. Исследование процессов термического разложения силиконовой жидкости в судовых демпферах // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока. 2006. №2. С.111-112.
2. Покусаев М.Н. Демпфирование крутильных колебаний в валах судовых дизелей: моделирование, экспериментальные и натурные исследования: диссертация доктора технических наук: 05.08.05. – Астраханский государственный технический университет, Астрахань, 2005 – 347 с.
3. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. М.: Химия. 1978. 384 с.

Сведения об авторах:

1. **Бородина Олеся Юрьевна**, аспирант 3-его курса кафедры судовые энергетические установки, «Сибирского государственного университета водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: BorodinaoYu@mail.ru
2. **Глушков Сергей Павлович**, доктор технических наук, профессор кафедры судовые энергетические установки «Сибирского государственного университета водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: rcpl@ngs.ru.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ТЕПЛИЦЕ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДОЙ

Вахидов У., Анарбаев А.И.
НИУ «ТИИИМСХ», г.Ташкент, Узбекистан
[E-mail anizan6004@mail.ru](mailto:anizan6004@mail.ru)

***Аннотация.** Регулировка этих параметров достигается выбором соответствующих управляющих воздействий. В этой работе предлагается метод контроля температуры и относительной влажности в помещении теплицы. Предлагаемый регулятор температуры системы охлаждения теплицы предназначен для регулирования объемного расхода воздуха в системе охлаждения с вентилятором для фиксации температуры в помещении теплицы на уровне 20⁰С и относительной влажности 70%. Разработанная методика управления реализована для обеспечения требуемой и непрерывной работы теплицы. Кроме того, в данной работе представлено полное математическое моделирование и имитация системы охлаждения. Кроме того, компьютерная модель, основанная на программном обеспечении MATLAB SIMULINK, использовалась для прогнозирования профилей температуры и относительной влажности внутри теплицы.*

***Ключевые слова.** теплица, температурно-влажностный режим, система испарительного охлаждения, моделирование.*

SIMULATION OF EVAPORATIVE COOLING SYSTEM IN A GREENHOUSE WITH A CONTROLLED ENVIRONMENT

***Annotation.** Adjustment of these parameters is achieved by selecting appropriate control actions. This work proposes a method to control the temperature and relative humidity in a greenhouse environment. The proposed temperature controller for a greenhouse cooling system is designed to regulate the volumetric air flow in a cooling system with a fan to fix the temperature in the greenhouse at 20⁰С and a relative humidity of 70%. The developed control methodology is implemented to ensure the required and continuous operation of the greenhouse. In addition, this work presents a complete mathematical modeling and simulation of the cooling system. In addition, a computer model based on MATLAB SIMULINK software was used to predict the temperature and relative humidity profiles inside the greenhouse.*

***Keywords.** greenhouse, temperature and humidity conditions, evaporative cooling system, modeling.*

Одним из преимуществ выращивания растений в теплице является возможность контролировать все аспекты среды выращивания. Двумя

основными факторами, влияющими на рост растений, являются температура и относительная влажность [1]. Различные виды растений имеют разные оптимальные температуры и влажность для выращивания. Лекарственные травы (например, майоран) часто нуждаются в температуре 20⁰С и относительной влажности около 70% для роста [2]. Низкие или высокие температуры могут вызвать стресс у растений, затормозить их рост или вызвать опадение листьев. Кроме того, когда влажность низкая, это будет препятствовать росту травы, останавливая фотосинтез, и в конечном итоге приведет к увяданию травы. С другой стороны, высокая влажность увеличивает вероятность распространения болезней [2].

Поэтому следует использовать регуляторы температуры и влажности, чтобы избежать вредных воздействий. Это касается контроля температуры и относительной влажности в предлагаемой теплице. Эта система охлаждения может поддерживать внутреннюю температуру и относительную влажность теплицы примерно на уровне 20⁰С и 70% соответственно.

Для изучения переменных, определяющих температуру воздуха в теплице, сформулирован упрощенный вариант энергетического баланса теплицы.

Обычно микроклимат теплицы представлен климатом в середине помещения. Баланс энергии в средней части теплицы можно записать в виде [3]:

$$R_{ni} \cdot (1 - \alpha) = \frac{A_c}{A_g} \cdot K \cdot (T_i - T_0) + \rho \cdot C_p \cdot \left(\frac{Q}{A_g}\right) (T_i - T_0) \quad (1)$$

где R_{ni} - проходящее полезное излучение (в Вт·м⁻²), α - отношение потока скрытого тепла к чистому излучению. Следовательно, слагаемое « $R_{ni} \cdot (1 - \alpha)$ » представляет собой часть проходящей полезной радиации, которая преобразуется в явное тепло, способствующее повышению температуры воздуха в теплице, и представляет собой температуру наружного T_0 и внутреннего T_i воздуха теплицы соответственно (в ⁰С), K (в Вт·м⁻²·⁰С⁻¹) – коэффициент теплопередачи покрытия теплицы (путем конвекции и теплопроводности), зависящий от типа покрытия и скорости ветра, A_c – площадь покрытия теплицы (в м²), A_g – площадь почвенной поверхности теплицы (в м²), Q – расход вентиляционного воздуха (в м³·с⁻¹), ρ – плотность воздуха (в кгм³), C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении (Дж·кг⁻¹·⁰С⁻¹). Заменяв член Q/A_g на V_a , который представляет скорость вентиляции теплицы в (м³с⁻¹м⁻²) площади пола, предполагая, что R_{ni} это очень близко к входящему солнечному излучению R_{si} , и функция скорости ветра это ($K=K_1 - K_2u$). Уравнение (1) принимает вид:

$$R_{ni} \cdot (1 - \alpha) = \frac{A_c}{A_g} \cdot (K_1 - K_2 \cdot u) \cdot (T_i - T_0) + \rho \cdot C_p \cdot V_a \cdot (T_i - T_0) \quad (2)$$

где K_1 и K_2 – константы, u – скорость наружного воздуха в $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$. Принимая во внимание, что $R_{si} = \tau \cdot R_{s0}$, где R_{s0} — внешняя солнечная радиация ($\text{Вт} \cdot \text{м}^2$), τ — коэффициент пропускания теплицы солнечной радиации. Таким образом, используя уравнение (2), температуру воздуха в теплице T_i можно рассчитать по следующему соотношению:

$$T_i = T_0 + \frac{\tau \cdot R_{s0} \cdot (1 - \alpha)}{(A_c/A_g)(K_1 - K_2 \cdot u) + \rho \cdot C_p \cdot V_a} \quad (3)$$

Разделив числитель и знаменатель второй части уравнения (3) на член « $(A_c/A_g) \cdot K_1$ », получим:

$$T_i - T_0 = \frac{[\tau \cdot (1 - \alpha)] \cdot R_{s0} / ((A_c/A_g) \cdot K_1)}{1 - (K_2/K_1) \cdot u + (\rho \cdot C_p \cdot V_a) / (K_1 (A_c/A_g))} \quad (4)$$

Если мы заменим член $[(1 - \alpha)] \cdot (K_1 \cdot (A_c/A_g))^{-1}$ на α_1 , член (K_2/K_1) на α_2 и член $(\rho \cdot C_p \cdot V_a) / K_1 (A_c/A_g)$ на α_3

$$T_i - T_0 = \frac{\tau \cdot \alpha_1 \cdot R_{s0}}{1 - \alpha_2 \cdot u + \alpha_3 \cdot V_a} \quad (5)$$

Уравнение (5) представляет собой упрощенный вариант тепличного энергетического баланса, который необходимо применять для определения неизвестных параметров α_1 , α_2 и α_3 . Соответственно, измерения T_i , T_0 , R_{s0} , τ , u и V_a необходимы для калибровки уравнения (5) и статистического определения значений α_1 , α_2 и α_3 .

Вентиляторные системы обычно используются для охлаждения окружающей среды внутри теплиц, чтобы они были пригодны для выращивания растений (например, в питомниках, для выращивания домашних и коммерческих овощей или цветов и т. д.). Вентиляторы нагнетают наружный воздух на влажный мат, нагнетая охлажденный и увлажненный воздух в теплицу. Как правило, влажные маты и вентиляторы располагаются относительно друг друга на противоположных стенах, так что испаряющийся охлажденный воздух вытягивается от одного конца конструкции теплицы к другому.

Линейная модель простого вентилятора состоит из механического уравнения и электрического уравнения, определенных в следующих [4].

$$U_a = E + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (6)$$

$$T_e = T_L + B_m \cdot \omega_m + J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (7)$$

$$P_{fan} = N^2 \cdot D^2 \cdot \nu \quad (8)$$

где N — скорость вентилятора, D — диаметр вентилятора, ν — удельный вес воздуха ($11,82 \text{ Н/м}^2$), R_a — сопротивление якоря (Ω), L_a — индуктивность якоря (Гн), U_a — напряжение на клеммах (В), J — момент инерции ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$), B_m — коэффициент демпфирования механической системы ($\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$). I_a — ток якоря (А), T_L — момент нагрузки (Нм), T_e — развиваемый момент, ω_m — скорость вращения (об/мин).

Эффективность охлаждения η_c испарительной системы определяется формулой:

$$\eta_c = \frac{T_{db,0} - T}{T_{db,0} - T_{wb,0}} \quad (9)$$

где $T_{db,0}$ и $T_{wb,0}$ — температуры воздуха снаружи теплицы по сухому и влажному термометрам в $^{\circ}\text{C}$, а T — температура охлажденного воздуха, проходящего через влажный мат, в $^{\circ}\text{C}$ по сухому термометру. Уравнение (9) хорошо работает для испарительных систем охлаждения, поскольку процесс охлаждения (адиабатический процесс) происходит почти при постоянной температуре наружного воздуха по влажному термометру. Уравнение (9) можно преобразовать из [5]:

$$T = T_{db,0} + \eta_c \cdot (T_{db,0} - T_{wb,0}) = (1 - \eta_c) \cdot T_{db,0} - \eta_c \cdot T_{wb,0} \quad (10)$$

$$\Delta T = T_{db,0} - T = \eta_c \cdot (T_{db,0} - T_{wb,0}) \quad (11)$$

где ΔT — падение температуры воздуха через испарительные пластины системы охлаждения, $^{\circ}\text{C}$. Уравнения (10) и (11) показывают, что как T , так и ΔT зависят только от температуры наружного воздуха по сухому и влажному термометрам при постоянной эффективности охлаждения. Если предположить, что эффективность систем испарительного охлаждения составляет 80 %, уравнения (10) и (11) можно записать в виде:

$$T = 0,2 \cdot T_{db,0} + 0,8 \cdot T_{wb,0} \quad (12)$$

$$\Delta T = 0,8 \cdot (T_{db,0} - T_{wb,0}) \quad (13)$$

Испарительная система охлаждения с вентилятором должна иметь соответствующий контроллер, чтобы оператор мог регулировать микроклимат в теплице, чтобы обеспечить наилучшие условия для выращивания выбранной сельскохозяйственной культуры и комфортные условия для работника. Два обычных регулятора (ПИ-регуляторы) используются для поддержания оптимальной температуры и относительной влажности ($T_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$ и $H_{ref} = 0.0$) внутри теплицы в любое время и для преодоления нагрузочного воздействия наружных нежелательных климатических условий. Блок-схема, описывающая

стратегию управления, показана на рисунке 1. Блок-схема MATLAB SIMULINK системы охлаждения теплицы показана на рисунке 2.

Входным сигналом для предлагаемых контроллеров является системная ошибка e , а выходным действием является требуемый сигнал управления вентилятором теплицы и системой влажных матов vc . Температура и влажность внутри теплицы (T_{in} и H_{in}) являются сигналами обратной связи для ПИ контроллера.

Фактическая температура внутри теплицы (T_{in}) сравнивается с эталонным значением температуры ($T_{ref} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) через компаратор, чтобы выдать сигнал ошибки, который вводится в системный контроллер. В этом случае контроллер использует входной сигнал ошибки e для улучшения реакции системы путем создания подходящего управляющего сигнала вентилятора теплицы и системы влажных матов vc . Кроме того, второй компаратор используется для сравнения фактической относительной влажности с эталонной относительной влажностью ($RH = 0,7$) для получения сигнала ошибки для ПИ-регулятора. Контроллер влажности работает между режимами осушения и увлажнения для удаления нежелательной атмосферной влаги, скапливающейся в теплице, или для добавления необходимой влаги в воздух посредством увлажнения. В режиме осушения, в условиях высокой влажности включается вентилятор увлажнения до тех пор, пока уровень относительной влажности не упадет приблизительно до 70%. В режиме увлажнения этот элемент управления управляет системой увлажнения с помощью вентилятора, активируя переключатели и двигатели до тех пор, пока относительная влажность не поднимется до 70%.

Во время этой работы системы охлаждения теплицы могут возникать *Первая ситуация: влажность ($RH < 0,7$)*. Система влажных матов-вентиляторов включается для увеличения необходимой относительной влажности.



Рис. 1. Блок-схема системы управления теплицей с использованием ПИ-регулятора

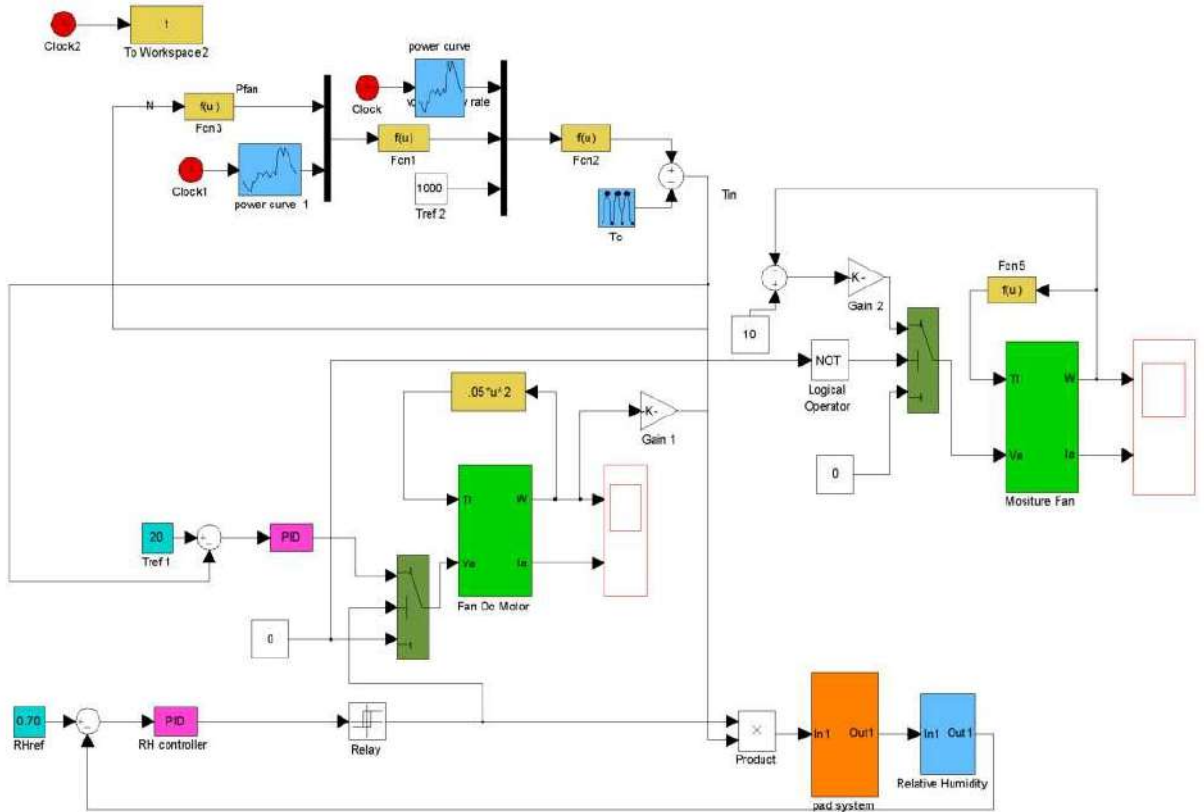


Рис. 2 Блок-схема MATLAB SIMULINK системы охлаждения теплицы.

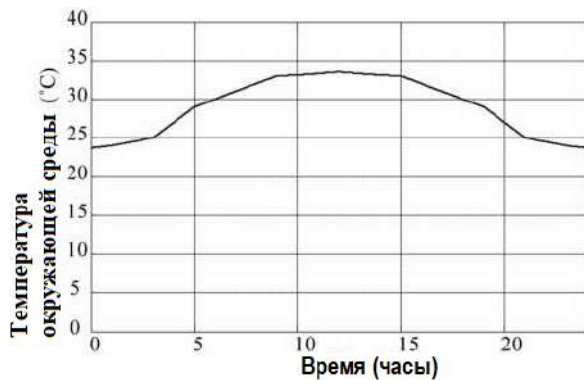


Рис. 3 .Температура окружающей среды.

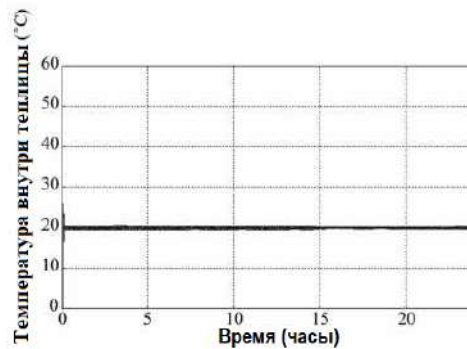


Рис. 4. Температура в помещении теплицы с техникой регулирования.

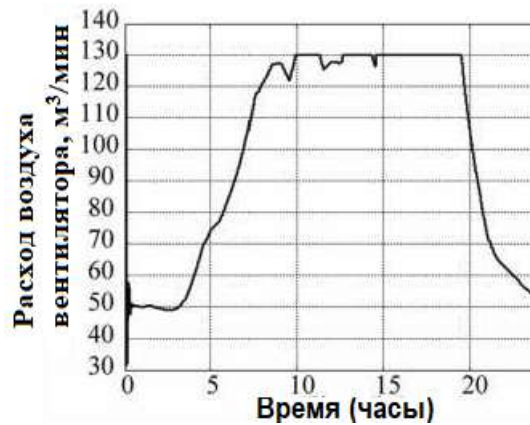


Рис. 5. Расход воздуха вентилятора, м³/мин.

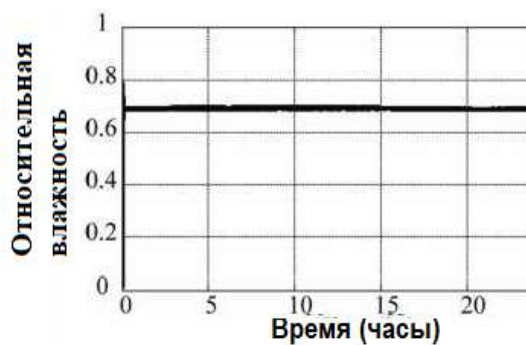


Рис. 6. Относительная влажность в теплице с ПИ-регулятором. время урегулирования и хорошая производительность отслеживания.

Вторая ситуация: осушение (относительная влажность > 0,7) Система вентиляторов выключается, а крышные и боковые форточки теплицы открываются для проветривания. Кроме того, вентилятор на крыше используется для замещения воздуха внутри теплицы (насыщенного влагой) сухим воздухом снаружи теплицы.

Система охлаждения имеет два контроллера, которые поддерживают задаваемые внутреннюю температуру и относительную влажность в теплице.

Предложена методика ПИ-регулирования для фиксации температуры и относительной влажности в помещении теплицы на оптимальном уровне для выращивания сельскохозяйственной культуры. Предлагаемый контроллер точно настроен и используется для достижения хорошего отклика регулирующих органов. Параметры тонкой настройки регуляторов температуры и относительной влажности составляют $K_p = 10$, $K = 0.0001$, и $K_p = 0.1$, $K = 0.2$ соответственно.

Температура наружного воздуха в теплице в течение 24 часов показана на рисунке 3. В то время как на рисунке 4 показана реакция температуры внутри теплицы. Замечено, что температура внутри теплицы очень хорошо соответствует эталонной температуре. С другой стороны, расход воздуха

вентилятора показан на рисунке 5. Из этого рисунка также видно, что максимальный расход воздуха вентилятора возникает около полудня при соответствующей максимальной температуре окружающей среды, а минимальный расход воздуха приходится на полночь при соответствующей минимальной температуре окружающей среды.

Кроме того, контролируемая относительная влажность показана на рисунке 6, что указывает на очень хорошие характеристики, поскольку имеется небольшой перерегулирование, быстрое время и хорошая производительность отслеживания.

Заключение.

Оптимальная длина теплицы, высота (площадь) охлаждающего влажного мата и массовый расход были получены как 7 м, 1,75 м (ширина 3 м) и 0,6 кг/с соответственно.

Рассмотрена система испарительного охлаждения для снижения температуры воздуха внутри теплицы, которая влияет на окружающую среду теплицы и, следовательно, на выращивание культурных растений. Предложен метод управления (ПИ-регулятор) для фиксации внутри теплицы температуры и относительной влажности на оптимальных значениях (т.е. 20⁰С и 70% соответственно), которые подходят для выращивания майорана. Параметры тонкой настройки ПИ-регулятора: $K_p = 10$, $K = 0.0001$ и $K_p = 0.1$, $K = 0.2$ соответственно.

Предлагаемый регулятор температуры системы охлаждения предназначен для регулирования объемного расхода воздуха вентилятора путем регулирования скорости вращения двигателя вентилятора в системе «влажный мат-вентилятор»; зафиксировать внутреннюю температуру теплицы на уровне 20⁰С. С другой стороны, регулятор влажности работает между режимами осушения и увлажнения для удаления нежелательной атмосферной влаги, скапливающейся в теплице, или для добавления необходимой влаги в воздух посредством увлажнения, чтобы поддерживать относительную влажность внутри теплицы на уровне 70%. Кроме того, в этой статье представлено математическое моделирование и модель MATLAB SIMULINK для различных компонентов системы испарительного охлаждения.

Значение тепловой эффективности испарительного охладителя воды равно 0,79.

Литература

1. А.Анарбаев, У.Вохидов, Д.Кодиров, Н.Абдуганиев. Определение эффективности установки испарительного охлаждения воздуха в теплице по

температурно-влажностному режиму.// Agroiqtisodiyot ilmiy – amaliy agroiktisodiy jurnal (Махсус сон). 2020. С. 202-207.

2. U. Vakhidov, A.Anarbaev. Researches the efficiency of evaporation systems for decreasing the air's temperature in the greenhouses during summer period International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 10, Issue 9, September 2023.

3. А.Анарбаев, Ф.Толипов, У.Вохидов, Определение рациональных параметров систем испарительного охлаждения в теплице// Научно-технический журнал. Развитие науки и технологий. №5. 2023. Бухара. С.130-135.

4. Kittas C., Karamanis M. and Katsoulas N. Air Temperature Regime in a Forced Ventilated Greenhouse with Rose Crop. Energy and Buildings, Vol. 37, 2005, pp. 807-812. Kittas C., Karamanis M. and Katsoulas N. Air Temperature Regime in a Forced Ventilated Greenhouse with Rose Crop. Energy and Buildings, Vol. 37, 2005, pp. 807-812.

Сведения об авторах

Вахидов У. – соискатель Научно-исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

Анарбаев А.И. – PhD, с.н.с. Института проблем энергетики АН РУз

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОРОШКОВ НЕГАШЁНОЙ ИЗВЕСТИ, ФЛЮОРИТА И МЕДИ ОТ ВРЕМЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ

Зарипов Дж.А., Додхоев Э.С., Пирмадов М.Д.

Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими

***Аннотация:** В работе рассматривается экспериментальная установка с компьютерной регистрацией температуры исследуемых образцов в условиях непрерывного нагревания и охлаждения. Целью работы является экспериментальное исследование термодинамических свойств порошков негашённой извести и флюорита марки ФК-70 и меди в зависимости от температуры, а также определения состава исследуемых порошков.*

***Ключевые слова:** удельная теплоёмкость, негашённая известь, флюорит марки ФК-70, медь, температура.*

DEPENDENCE OF TEMPERATURE CHANGES IN QUICKLIME, FLUORITE AND COPPER POWDERS ON THE COOLING TIME

***Annotation:** The paper considers an experimental setup with computer registration of the temperature of the studied samples under conditions of continuous heating and cooling. The aim of the work is an experimental study of the thermodynamic properties of powders of non-enriched lime and fluorite of the FC-70 brand and copper, depending on temperature, as well as determining the composition of the powders under study.*

***Keywords:** specific heat capacity, non-enriched lime, fluorite grade FC-70, copper, temperature.*

Исследование теплофизических и адсорбционных свойств порошковой, гранулированной извести и её продуктов месторождения села Чаманзор Яванского района Республики Таджикистан и флюорита марки ФК-70 представляет собой большое практическое и теоретическое значение, что связано с фундаментальными физико-химическими проблемами [1].

Измерения проводились в условиях непрерывного охлаждения образцов, которые соответствовали условиям охлаждения расплава при получении образцов от температуры расплава до комнатной температуры. В качестве эталона использовали медной образец свойства, которого, которого во всём измеряемом интервале температур известна и заимствованы из источника [3].

Большой вклад в изучении охлаждения негашённой извести месторождения Чаманзор Яванского района Республики Таджикистан и и флюорита марки ФК-70 внесли сравнения с работой С.К. Сухорученко, который представил

подробное исследование их физико-механических свойств [1]. В силу достаточно малого количества информации о проведенных опытах по определению охлаждения порошка известняка и флюорита марки ФК-70, были найдены источники, содержащие сведения о результатах испытания различных пород известняка в целом, что позволяет осуществить качественное сравнение данных [3].

На основе результатов, полученных на экспериментальной установке [1] приведён пример расчёта температурных зависимостей: модуля скоростей охлаждения эталонного образца исследованного негашёного известняка и флюорита марки ФК-70; температурная зависимость извести и медного эталона. Сравнение результатов представлена в таблицах 1.1. [2]

Таблица 1.1. Зависимость изменения температуры (Т, К) образцов от времени охлаждения (τ,с) для порошка негашёной извести (Згр), флюорита (Згр) и меди (Згр) [1, 2, 3].

τ,с	50	74	123	175	255	332	388	435	511	600
мед	1200	1100	900	852	735	615	550	510	495	455
известь	900	800	600	450	365	300	251	235	222	200
Флюорит	1000	945	824	724	654	520	473	411	385	347

Наблюдение проведена в течение 15 минут и с помощью автоматизированной установки получена следующий график (рис.4.1) [4].

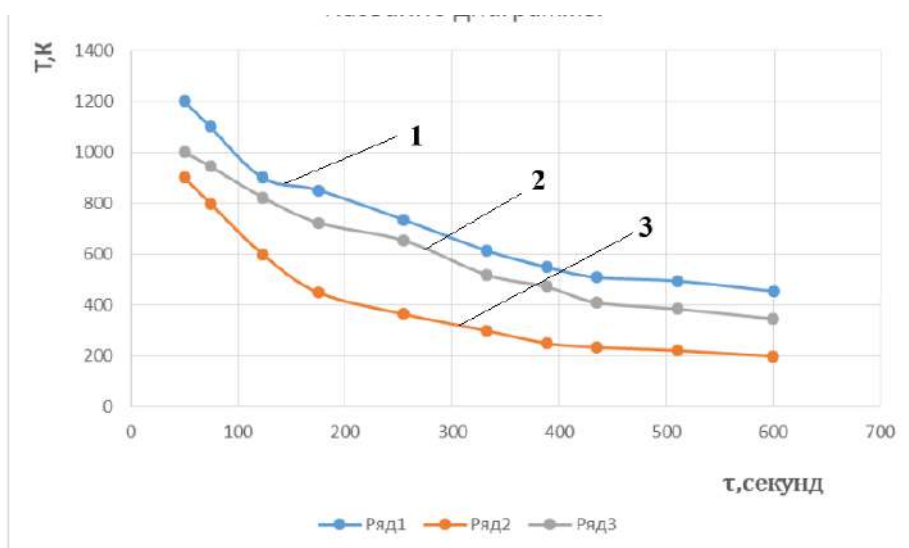


Рис. 1. Зависимости температуры образцов (Т) от времени охлаждения (τ) для: 1-мед; 2- флюорита 3 - негашёной извести

Кривые, представленные на рис.1, изображены, как температурные зависимости теплоносителей, отнесённые к её максимальному значению

известии, флюорита и порошок образцов, отличающихся по химическому составу и физическим свойством [1, 2, 3].

Выводы

Экспериментальная установка с компьютерной регистрацией температуры исследуемых образцов в условиях непрерывного нагревания и охлаждения позволяет получить экспериментальные данные термодинамических свойств порошков негашенной известии, флюорита марки ФК-70 и меди в зависимости от температуры. Определение состава исследуемых порошков позволяет рекомендовать данные материалы в качестве строительных материалов.

Список литературы

1. Сухорученко, С.К., Денудационные процессы нуммулитового известняка центральной части Крымских пород в районе г. Симферополя. Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. 2010г.Т.23 (62).№.1. –78с.
2. ГОСТ 8.381-80 (СТ СЭВ 403 – 76). ГСИ. Эталоны. Государственная система обеспечения единства измерений. Способы выражения погрешностей. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 9 с.
3. Глинки А.Э., Петров Т.Г. Экспериментальное изучение форм роста кристаллов флюорита в гидротермальных условиях. // Минер, сб. Львовская. гос. унта, 1966, № 20, вып. 3, с. 443-446.
4. Сафаров, М.М., Маджидов Х., Зубайдов С. Экспериментальная установка для измерения теплоемкости гранулированных веществ в зависимости от температуры. //Тез.докл. 9 Всесоюзной теплофизической школы.-Тамбов. – 1988г. – 66с.

Сведения об авторах

1. **Зарипов Джамшед Абдусаломович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика» ТТУ имени академика М.С. Осими. z-1972@mail.ru
2. **Пирмадов Муродмад Давлятович** - к.т.н., главный специалист естественно – математического и технического отдела ВАК при Президента Республика Таджикистан.
3. **Додхоев Эрадж Саробекович** - к.т.н., заведующий кафедрой электроэнергетики Технического колледжа ТТУ им. акад. М.С. Осими.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА И СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ТЕПЛО— И ВОДОСНАБЖЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Суворов И.Ф., Игнатъев Д.А., Палкин Г.А.

(ФГБОУ ВО «ЗабГУ», г. Чита)

E-mail: 79955542574@yandex.ru, ivan.suvorov.1947@mail.ru

Аннотация: Данная работа посвящена разработке системы, которая будет мониторить состояние тепловых объектов, анализировать полученную информацию и передавать ее на конечные пункты.

Ключевые слова: улучшение качества, модернизация трубопроводных систем, тепловые сети, удаленный мониторинг, тепловая камера, дефекты трубопровода, система, беспроводная передача данных, термоэлектрические преобразователи, диагностика, удаленное управление, тепловая камера, датчик температуры, датчик давления.

DEVELOPMENT OF A METHOD AND SYSTEM FOR MONITORING HEAT AND WATER SUPPLY FACILITIES IN COMPLEX NATURAL CONDITIONS

Annotation: This work is devoted to the development of a system that will monitor the state of thermal facilities, analyze the information received and transmit it to the final points.

Keywords: improvement of quality, modernization of pipeline systems, thermal networks, remote monitoring, thermal chamber, pipeline defects, system, wireless data transmission, thermoelectric converters, diagnostics, remote control, thermal chamber, temperature sensor, pressure sensor.

Основой обеспечения надежности тепловых сетей является знание реального состояния их элементов, что обеспечивает эффективное расходование ресурсов на обеспечение работоспособности. До недавнего времени ремонт, и перекладка тепловых сетей зачастую проводились по сроку эксплуатации и величине амортизационного износа[2]. Однако состояние элементов тепловых сетей зависит от конкретных условий их эксплуатации, которые могут, как ускорять, так и замедлять их разрушение, что приводит к удовлетворительной надежности элементов при высоком амортизационном износе[2].

В настоящее время появляется все больше измерительных приборов, датчиков, камер, средств связи и баз данных для получения информации о

состоянии тепловых объектах. Энергетика и коммунальные службы - не исключение. Задача повышения эффективности потребления ресурсов, снижения негативного воздействия на окружающую среду определяет необходимость оперативного мониторинга ситуации на тепловых объектах, точного места повреждения и контроля в режиме реального времени, особенно на теплопроводе горячего и холодного водоснабжения[3].

Качество проверки целостности труб оказывает большое влияние на обеспечение безотказной и экономичной работы тепловых объектов. Среди различных вариантов решения этой проблемы есть идея внедрения системы дистанционного мониторинга состояния трубопроводов. Такая система состоит из аппаратных и программных решений.

Система мониторинга надежности тепловых сетей должна включать комплексную систему накопления наблюдений, оценки и прогноза состояния элементов тепловых сетей. В ее задачи входит информационное обеспечение принятия управленческих решений техническими специалистами и ремонтным персоналом эксплуатирующих организаций в условиях изменяющегося состояния тепловых сетей[3]. В целом система мониторинга должна помочь формировать техническую политику организации в области обеспечения надежности тепловых сетей. Использование системы мониторинга надежности тепловых сетей позволит планировать объемы ремонтных работ и оценивать потребности в необходимых ресурсах. Эксплуатация тепловых сетей с использованием системы мониторинга откроет дополнительные резервы для повышения их ресурса и надежности. Система мониторинга надежности тепловых сетей должна опираться на современные методы сбора, накопления и статистической обработки больших массивов информации[3]. В этой связи проблема мониторинга надежности тепловых сетей является актуальной научно-технической задачей.

Совсем недавно были только приборы учета, которые являлись достаточно громоздкими устройствами, решающие в основном определенные задачи[1]. Они не обладают такими качествами, как компактность, автономность и малое энергопотребление, сбор и хранение данных, анализ полученных данных, управление приборами с электроприводом.

Система, которая подлежит разработке, будет применяться для сбора и передачи показаний с квартир или тепловых камер, а также управления исполнительными устройствами, например, электропривода задвижек, электрические клапана. Дополнительно с ней можно использовать датчики температуры, давления, SOS, влажности.

Задачи, которые позволяет решать данное устройство огромное количество и основная задача происходит из самой сути: устройство должно собирать, накапливать анализировать и передавать данные в различные системы учета ресурсов.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи исследования:

- разработка системы мониторинга;
- обоснование математического описания состояния тепловых сетей;
- получение методики объединения элементов тепловых сетей в однородные группы по совокупности признаков;
- разработка методики прогнозирования параметров надежности элементов тепловых сетей;
- создание программных модулей системы мониторинга надежности тепловых сетей.

Данная система, будет устанавливаться в тепловые камеры на тепловых магистралях, подвалах, насосных, котельные для сбора и обработки данных, таких как, температура воды, давление в трассе, влажность, и любые другие, которые потребуются в зависимости от ситуации, а так же будет реализован способ управления.

Преимущество этой системы будет состоять в том, что может работать всюду, где есть сотовая связь, и при необходимости можно использовать wi-fi антенны, прокладывать кабель для передачи данных не потребуется, а информация будет отправляться на сервер с последующей передачей данных оператору. Так же она может быть полностью автономной и работать от аккумуляторной батареи с использованием тепловой энергии тепловой сети за счет элементов Пельтье[1,4]. Это позволяет работать даже в тех местах, где нет напряжения.

Особенности предлагаемой системы:

- автономность;
- работа в зоне покрытия оператора связи;
- сменная батарея;
- работает отдельно от приборов учета;
- подключение дополнительных средств контроля и мониторинга;
- хранение данных;
- анализ полученных данных.

Разрабатываемая система будет лишена недостатков которые присуще приборам учета[1] так как это отдельный комплекс и к нему можно подключить несколько приборов учета. В случае выхода ее из строя ее можно быстро

заменить стандартным способом, не трогая приборы учета, что значительно проще если бы пришлось трогать приборы учета, т.к. они опломбированы.

Данный комплекс можно будет достаточно легко интегрировать как в тепловую камеру, так и в строящийся жилой дом или в жилой дом находящийся в эксплуатации (не навредив ни жильцам, ни собственности, т.к. ремонт не потребуются).

Благодаря этому системой можно будет дистанционно управлять электрическими задвижками на теплотрассе, что значительно уменьшит расход воды и сэкономит бюджет организации. Будет быстрый поиск утечек, быстрее будут приниматься важные для работы задачи, что в целом повысит эффективность работы любого предприятия. Архивы будут храниться на серверах для обеспечения статистики, так же устройство оснащено кнопкой SOS, в случае ЧП человек находящейся в тепловой камере сможет дать сигнал диспетчеру, всегда с большой точностью регулировать температуру в теплотрассе и жилых домах.

Возможности:

- отражение всех показателей в режиме реального времени;
- сверка и корректировка данных;
- анализ полученных данных;
- оперативный вывод сообщений диспетчеру;
- дистанционная настройка;
- формирование отчетов за любой период;
- доступ к состоянию.

Разработанная система мониторинга прошла апробацию в реальной тепловой сети Забайкальского края. На рис.1 приведен опытный образец. На рис. 2 показана схема работы системы.



Рис. 1. Макет устройства.

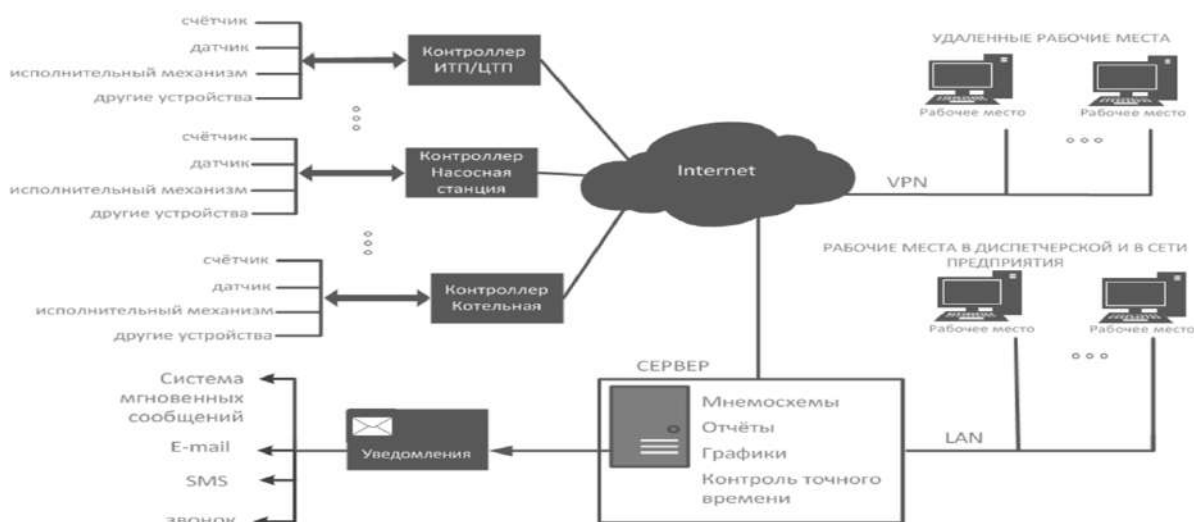


Рис. 2. Схема работы системы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №123102000012-2 «Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива, соглашение №075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г.»)

Литература

1. Иорданишвили Е. К. Термоэлектрические источники питания. М.: Советское радио, 1968.

2. Седлер М. Х., Карабасов Е. А. Повышение качества контроля труб путем разработки установки автоматизированного ультразвукового контроля. Современное машиностроение. Наука и образование. 2014.

3. Тимовский А. Развитие сетей LoRaWAN в России: беспроводные системы диспетчеризации для ЖКХ // Control Engineering Россия. 2016. № 6.

4. Шостаковский П. Г. Альтернативные источники электрической энергии промышленного применения // Control Engineering Россия. 2013. № 3.

Сведения об авторах:

Игнатъев Д.А. – аспирант 1 курса, научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, кафедры Энергетики, ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

Суворов И.Ф. – научный руководитель, д.т.н., профессор, профессор кафедры Энергетики, ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

Палкин Г.А. – старший преподаватель кафедры информатики вычислительной техники и прикладной математики ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», канд. техн. наук

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАГРЕВА МНОГОФАЗНОГО ПРОТОЧНОГО БИОГАЗОВОГО РЕАКТОРА ОТ СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ С НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА ОТ СТОЧНЫХ ВОД

Каракулов А.Н., Анарбаев А.И.

Института проблем энергетики АН РУз, г.Ташкент, Узбекистан

[E-mail anizan6004@mail.ru](mailto:anizan6004@mail.ru)

Аннотация. В этом исследовании была разработана солнечно-теплонасосная система с низкопотенциальным источником сточных вод (СТНС-НИСВ) для обогрева многофазного проточного биореактора (МПБР) объемом 12 м³. Для исследования эксплуатационных эффектов были определены два режима. Были выполнены термодинамические расчеты и анализ имитационного моделирования, а также рассчитаны площадь солнечного коллектора (A_c) и минимальная длина канализационного двухтрубного теплообменника (l_{min}) для двух режимов в зависимости от солнечного замещения f в разных регионах республики. Режим 1 $f < 0,33$, а режим 2 $f > 0,5$.

Ключевые слова. биогазовый реактор, температурный режим, солнечно-теплонасосная система, источник низкопотенциального тепла, сточные воды.

DYNAMIC SYSTEM FOR HEATING A MULTIPHASE FLOW BIOGAS REACTOR FROM A SOLAR HEAT PUMP SYSTEM WITH A LOW POTENTIAL HEAT SOURCE FROM WASTEWATER

Annotation. In this study, a solar heat pump system with a low-grade wastewater source was developed to heat a 12 m³ multiphase flow bioreactor. To investigate operational effects, two regimes were defined. Thermodynamic calculations and analysis of simulation modeling were performed, and the area of the solar collector (A_c) and the minimum length of the sewer two-pipe heat exchanger (l_{min}) were calculated for two modes depending on the solar replacement f in different regions of the republic. Mode 1 $f < 0.33$, and mode 2 $f > 0.5$.

Keywords. biogas reactor, temperature regime, solar heat pump system, low-grade heat source, wastewater.

Биогаз — это возобновляемая форма энергии, которая производится путем анаэробного брожения органических отходов при определенной температуре, pH и концентрации. Температура является одним из факторов, влияющих на анаэробное разложение субстрата. Снижение температуры в

холодный период года существенно влияет на процесс бактериального брожения не менее 35°C и поэтому не должно превышать $2-3^{\circ}\text{C}$ в час [1]. Если изменение температуры брожения превышает 5°C в течение короткого периода времени, процессы производства биогаза может остановиться. Таким образом, требуется поддерживать постоянную температуру при брожении в биогазовом реакторе, для чего должен быть оснащен системой нагрева для обеспечения стабильного производства биогаза зимой.

Традиционные методы поддержания температурных режимов в биогазовой установке включают утилизацию уходящего из неё тепла, подогрев от биогазового котла, активное и пассивное солнечное отопление и отопление тепловым насосом [2]. В последние годы для снижения потребления сетевой энергии и исключения высоких первоначальных затрат, также проблем нестабильности при использовании автономной солнечной энергии, методы нагрева тепловым насосом с солнечным интегрированным источником. Эти методы включают использования тепловым насосом теплоты от солнечного источника [3], подогретого солнечной энергией воздуха и комбинации солнечного источника с низкопотенциальной теплотой сточных вод. Однако методы нагрева комбинированием теплового насоса с использованием солнечной энергии имеют много недостатков, что ограничивает их применение. Во-первых, система обогрева биогазовой установки в зимний период имеет низкий коэффициент энергоэффективности (EER). Другим недостатком метода нагрева солнечно-грунтовым тепловым насосом является снижение EER с течением времени, что связано с дисбалансом аккумулирования тепла зимой и летом. Недостатком солнечно-воздушного метода отопления является обледенение зимой.

Нагрев тепловым насосом с использованием в качестве низкопотенциального источника солнечных коллекторов отличается от двух других методов и имеет преимущества более высокого EER, более низкой начальной стоимости и простоты обслуживания.

По схеме, показанной на рисунке 1, система динамического брожения многофазного проточного биореактора (МПБР) объемом 12 м^3 нагревалась биогазовым котлом. Температура значительно влияет на скорость производства биогаза в системе МПБР. Несмотря на то, что после длительной эксплуатации система биогазового котла имела преимущества удобной эксплуатации и простоты обслуживания, высокое потребление энергии и низкий EER снизили общую эффективность биогазового проекта, что затруднило поддержание стабильной долгосрочной работы.

Соответственно, в этом исследовании была разработана интегрированная система динамического нагрева тепловым насосом от солнечной энергии и источника сточных вод для МПБР. В качестве теплообменника использовано предварительно спроектированное двухтрубное устройство, извлекающее тепловую энергию из неочищенных сточных вод. Структура устройства позволяет избежать проблем с коррозией и засорением, расширяя область применения системы отопления. Кроме того, система не требует биохимической очистки сточных вод. Были исследованы два режима работы в зависимости от величины солнечной энергии в разных регионах. Путем термодинамических расчетов и анализа рабочего моделирования были получены изменения площади солнечного коллектора (A_c) и минимальной длины двухтрубного теплообменника сточных вод (l_{\min}) при двух режимах работы, а также диапазоны применения режимов работы, определенный.

Предлагаемая система (рис.1) содержит две подсистемы: СТНС-НИСВ и систему динамического нагрева биогазовой суспензии и хранения тепла. СТНС-НИСВ состоит из солнечного коллектора, теплонасосного агрегата, канализационного двухтрубного теплообменника и водяных насосов. Канализационный двухтрубный теплообменник является частью канализационной сети. Неочищенные сточные воды поступают во внутреннюю трубу, а вода в качестве теплоносителя – в спиральное пространство между внутренней и внешней трубами. Тепловая энергия неочищенных сточных вод передается через внутреннюю стенку трубы прохладной воде, которая после теплообмена стекает вниз по течению. Кроме того, солнечные коллекторы обеспечивают часть тепла. Затем нагретая вода подается циркуляционным насосом в блок теплового насоса, а после теплообмена снова подается в канализационный двухтрубный теплообменник.

После передачи и преобразования блоком теплового насоса тепловая энергия передается в систему динамического нагрева биогазовой субстрата и системы хранения тепла через насос нагретой воды. В системе динамического нагрева и аккумуляции тепла биогазового субстрата тепловая энергия передается субстрату через двухтрубный теплообменник, и полученное тепло хранится в теплоаккумуляционном баке.

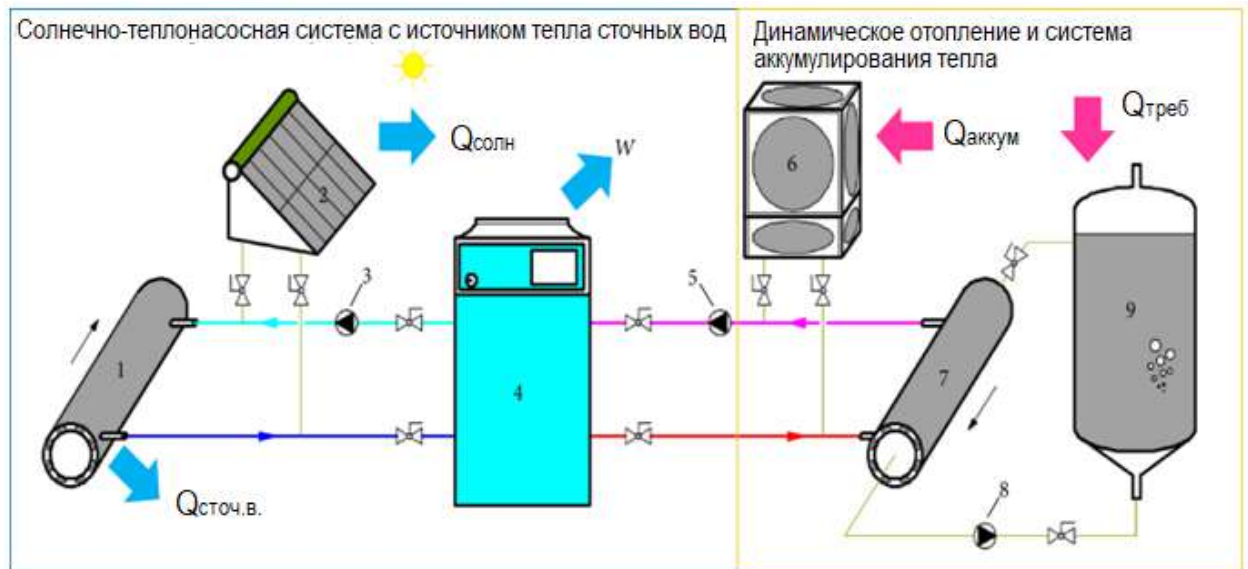


Рис. 1. Схема СТНС-НИСВ и динамической системы отопления и аккумулирования тепла. 1 — двухтрубный теплообменник для сточных вод; 2—солнечный коллектор; 3—насос воды, используемой в качестве теплоносителя; 4—тепловососный агрегат; 5—насос охлаждающей воды; 6—аккумулятор тепла; 7—теплообменник шламовый двухтрубный; 8—биогазовый шламовый насос; 9—МПБР

В качестве источника тепла для отопления в системе используется тепловой насос. Номинальная мощность, коэффициент использования (COP) и напряжение тепловососной установки составляли 1 кВт, 4,0 и 380 кВт соответственно. Для снижения мощности при выборе тепловососного агрегата использовали бак-аккумулятор. Объем, длина, ширина и высота резервуара составляли 2 м³, 1,0 м, 1,0 м и 2,0 м соответственно. Температура хранения была установлена равной 313,15 К. Номинальная мощность, номинальный расход, напор и частота вращения насосов нагревающей воды и насоса нагреваемой воды составляли 0,75 кВт, 7 м³·ч⁻¹, 12,5 м и 2000 об/мин соответственно.

Температура неочищенных сточных вод зимой составляла 13,4÷16,2 °С, а колебания температуры были небольшими. Таким образом, предполагается, что температура сточных вод была постоянной в 15 °С.

Как показано на рисунке 1, в теплообменнике сохраняется теплопередача вода–вода в обратном направлении. Поток сточных вод во внутренней трубе является естественной конвекцией, а поток нагреваемой воды во внешней трубе - принудительной конвекцией. l_{min} можно выразить следующим образом [4]:

$$l = \frac{1000Q_{\text{сточ.в}} \cdot \ln((t_{\text{сточ.в}} - t_{\text{вх}}) / (\pi t_{\text{сточ.в}} - t_{\text{вых}}))}{k_m \cdot [(t_{\text{сточ.в}} - t_{\text{вх}}) - (t_{\text{сточ.в}} - t_{\text{вых}})]} \quad (1)$$

Коэффициент теплопередачи теплообменника (Вт·м⁻¹·К⁻¹)

$$k_m = \frac{1}{R_1 + (1/2\pi r_0 h_0)} \quad (2)$$

После определения $Q_{\text{треб}}$ площадь солнечного коллектора может быть рассчитана для конкретного замещения солнечной энергией. Была выбрана прямая система, и A_c можно выразить следующим образом [5]:

$$A_c = Q_c \cdot \frac{f}{J_T \cdot \eta_d \cdot (1 - \eta_s)} \quad (3)$$

где A_c представляет собой площадь прямой системы (в м^2); f представляет солнечное замещение; J_T представляет собой среднесуточное количество солнечной радиации ($6,82 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) [5]; η_d представляет собой среднюю эффективность сбора солнечного коллектора (выбрано значение 0,4); η_s представляет собой среднюю скорость тепловых потерь солнечного коллектора (выбрано значение 0,2); Q_c представляет собой эффективность тепловых потерь прямой системы (выбрана как 0,05); и представляет собой тепловую нагрузку солнечного коллектора (в $\text{МДж} \cdot \text{сут}^{-1}$).

Предлагаемый СТНС-НИСВ был разработан для поддержания динамического анаэробного брожения при температуре 35°C в зимнее время. Как показано уравнением (1), минимальная длина канализационного двухтрубного теплообменника определялась коэффициентами теплоотдачи теплообменника. Следовательно, согласно уравнениям (2), расчетное значение k_m составило $292,43 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. На рисунке 2 представлена годовая тепловая нагрузка СТНС-НИСВ. $Q_{\text{треб}}$ была рассчитана как 1,01 кВт.

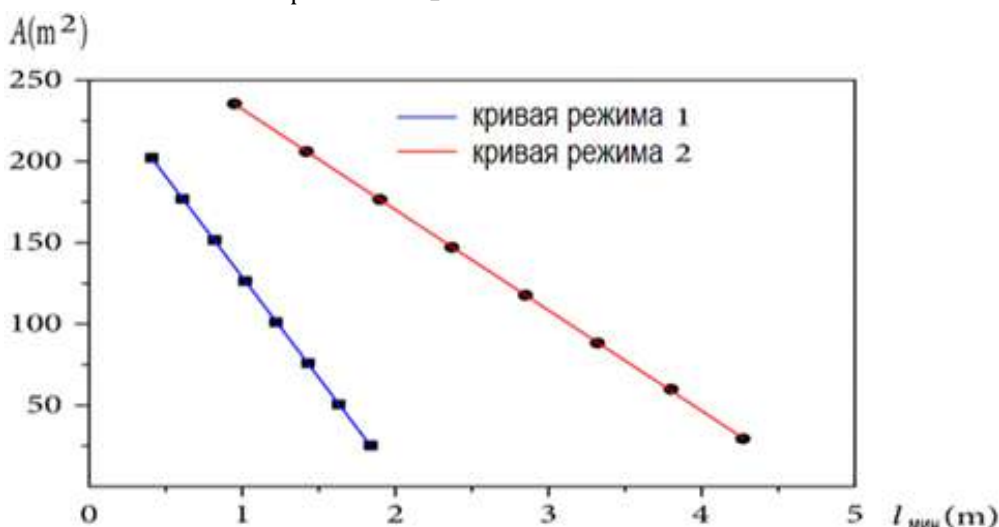


Рис. 2. Отношение площади солнечного коллектора к минимуму длины теплообменника сточных вод в разных режимах.

Были исследованы условия применения двух режимов. Режим 1 можно использовать в солнечно-энергоресурсных районах, где количество тепловой

энергии, отдаваемой неочищенными сточными водами, больше, чем отдаваемое солнечным излучением для СТНС-НИСВ. И наоборот, режим 2 можно использовать в районах, богатых ресурсами солнечной энергии, где количество тепловой энергии, отдаваемой неочищенными сточными водами, было меньше, чем от солнечной радиации для СТНС-НИСВ. Согласно уравнениям (3) а также (5), при $Q_{\text{сточ.в}} = Q_{\text{солн}}$, солнечные доли для режимов 1 и 2 равны 0,33 и 0,5 соответственно.

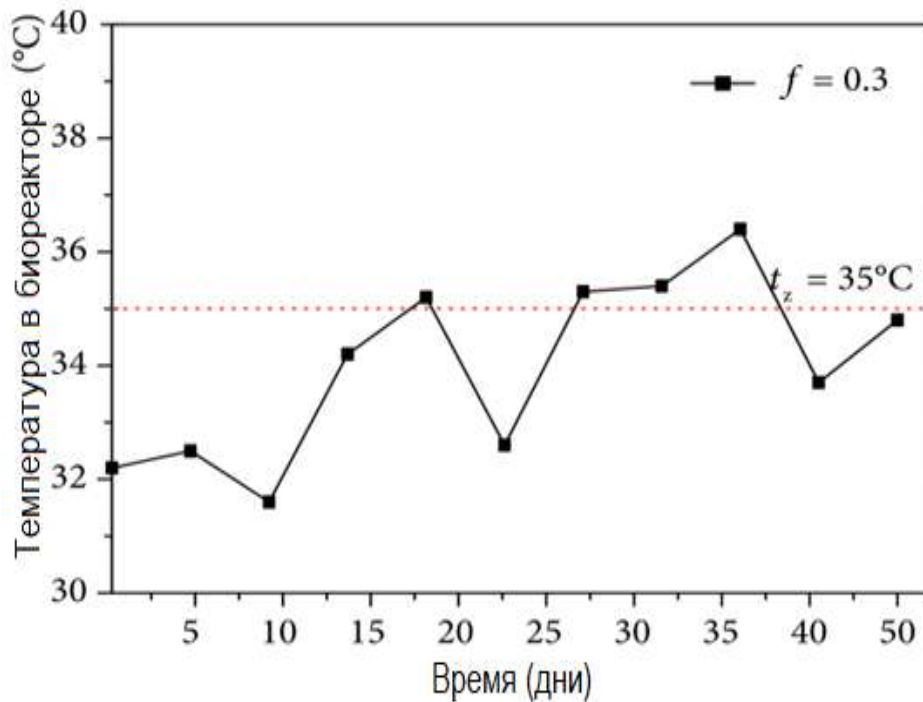


Рис. 3. Среднесуточная температура брожения в МПБР.

Рисунок 3 представляет температуру субстрата МПБР с 22 февраля 2023 г. по 10 апреля 2023 г. Как показано на рисунке 3, температура суспензии стабилизировалась на уровне около 35°C , что указывает на то, что СТНС-НИСВ работает хорошо, а МПБР обеспечивает стабильное сбраживание и образование биогаза.

Заключение

Для усовершенствования традиционной системы нагрева биогаза в данной статье предложена СТНС-НИСВ для системы динамического анаэробного брожения в МПР. В соответствии с долей солнечной энергии в разных регионах были определены два режима работы: режим 1 для районов с общими ресурсами солнечной энергии и режим 2 для районов с богатыми ресурсами солнечной энергии. На основании термодинамических расчетов и изучения экспериментов параметры A_c и l_{min} для двух режимов были рассчитаны.

Литература

1. N. Krakat, A. Westphal, S. Schmidt, and P. Scherer, “Anaerobic digestion of renewable biomass: thermophilic temperature governs methanogen population dynamics,” *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 76, no. 6, pp. 1842–1850, 2010.
2. А.И. Анарбаев, Х.С. Исаходжаев, А.Н. Каракулов, М.А. Короли. Анализ технологических схем производства биогаза с использованием теплового насоса// *Узбекский журнал Проблемы энерго- и ресурсосбережения*. №3, 2023. С.93-98
3. T. M. Alkhamis, R. El-khazali, M. M. Kablan, and M. A. Alhusein, “Heating of a biogas reactor using a solar energy system with temperature control unit,” *Solar Energy*, vol. 69, no. 3, pp. 239–247, 2000.
4. K. Rajendran, S. Aslanzadeh, and M. J. Taherzadeh, “Household biogas digesters – a review,” *Energies*, vol. 5, no. 8, pp. 2911–2942, 2012.
5. A. Aslani, T. Mazzuca-Sobczuk, S. Eivazi, and K. Bekhrad, “Analysis of bioenergy technologies development based on life cycle and adaptation trends,” *Renewable Energy*, vol. 127, pp. 1076–1086, 2018.

Сведения об авторах

Каракулов А.Н. – докторант Института проблем энергетики АН РУз
Анарбаев А.И. – PhD, с.н.с. Института проблем энергетики АН РУз

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СИСТЕМЫ ГЛИЦЕРИН+ВОДА

Зарифзода М.А. (Зарипова М.А.), Сафаров П.М.
Таджикский технический университет имени акад.М.С.Осими
mohira.zaripova@list.ru

Аннотация: На данной статье приведены результаты экспериментального исследования теплопроводности системы (глицерин + вода) в интервале температур 293–373К и давлении 0,101-0,141МПа. Результаты измерения показали, что теплопроводность исследуемых объектов с ростом температуры, давления и концентрации воды увеличивается.

Ключевые слова: теплопроводность, глицерин вода, давления, температура.

THE EQUATION OF STATE FOR CALCULATING THE HEAT TRANSFER OF THE SYSTEM GLYCERIN + WATER

Zarifzoda M.A. (Zaripova M.A.), Safarov P.M.

Abstract: This article presents the results of an experimental study of the thermal conductivity of the system (glytserine + water) in the temperature range 293–373 K and pressure 0.101–0.141 MPa. The measurement results showed that the thermal conductivity of the objects under study increases with increasing temperature, pressure and water concentration.

Key words: thermal conductivity, glycerol water, pressure, temperature.

Для нужд современной техники необходимости знание теплофизических свойств теплоносителей. Систематические исследования теплофизических свойств, то есть теплопроводность дает полезные сведения о природе материалов, позволяют определить практическое их использование, а также служат основой для дальнейшего развития физики жидкого тела. Знания теплофизических параметров особенно важно при конструировании промышленных тепловых установок самых разнообразных типов.

Этиленгликоль (этандиол, гликоль) - это простейший двухатомный спирт, его химическая формула $\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$. Этиленгликоль широко применяется в качестве *антифриза*, также используется в органическом синтезе. В очищенном виде представляет собой прозрачную бесцветную жидкость слегка маслянистой консистенции. Этиленгликоль не имеет запаха и обладает сладковатым вкусом. *Этиленгликоль токсичен [1,2].*

В таблице 1 представлено некоторые параметры теплофизического свойства этиленгликоля.

Таблица 1.Теплофизические величины этиленгликоля в зависимости от температуры.

Температура	Плотность	Удельная теплоемкость, C_p	Кинематическая вязкость	Теплопроводность	Коэффициент температуропроводности	Число Прандтля
°С	кг/м ³	кДж/(кг · К)	м ² /с · 10 ⁶	Вт/(м К) · 10 ²	м ² /с · 10 ⁷	-
0	1130,1	2,294	67,62	0,242	0,933	615,0
20	1116,1	2,382	19,17	0,249	0,938	204,0
40	1100,8	2,474	8,69	0,256	0,938	93,0
60	1087,1	2,562	4,75	0,260	0,931	51,0
80	1077,0	2,650	2,98	0,262	0,922	32,4
100	1057,9	2,742	2,03	0,263	0,908	22,4

Для теплоносителей характерно иметь большой интервал теплофизических свойств. В данной статье приведены теплофизические свойства исследуемых теплоносителей. Для промышленных целей, и для солнечных двухконтурных коллекторах применяются теплоносители с хорошими теплофизическими характеристиками.

Чтобы обработать экспериментальные значения теплопроводности образцов под воздействием различных температур, давлений и концентраций вторых компонентов мы использовали следующую функциональную зависимость [3,4]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (1)$$

где λ , λ_1 - коэффициент эффективной теплопроводности изучаемых образцов системы глицерин и воды при температурах $T-T_1$; $T_1=380\text{K}$.

Выполнимость выражение (1) показана на рисунке 1.

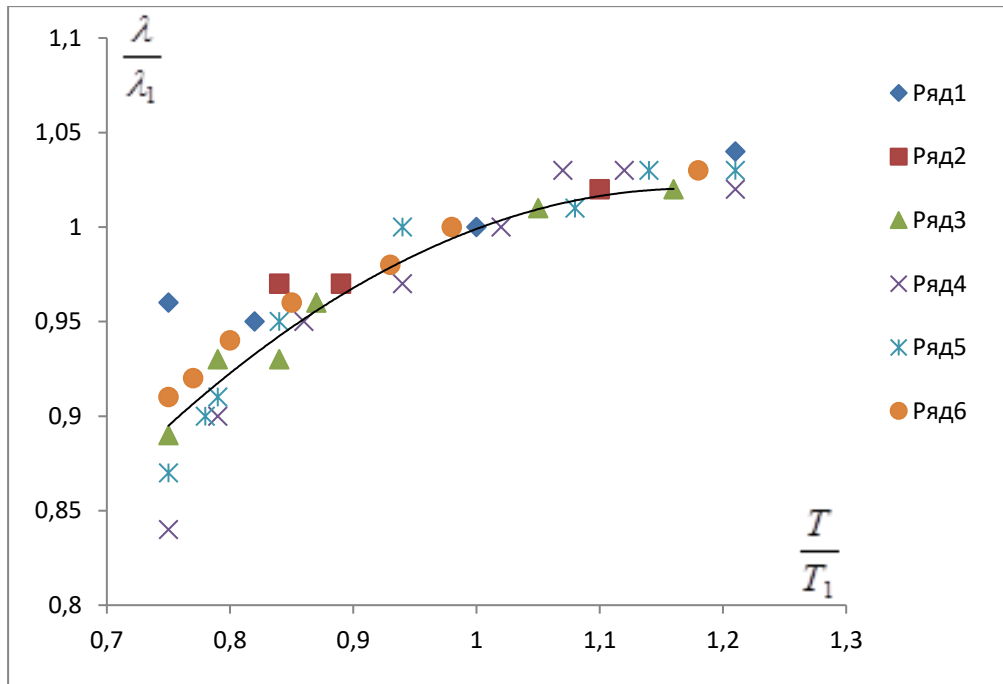


Рис. 1- Зависимость относительной теплопроводности ($\frac{\lambda}{\lambda_1}$) от относительной температуры ($\frac{T}{T_1}$): 1-100% $C_3H_6O_2$; 2-75% $C_3H_6O_2$ +25% H_2O ; 3-50% $C_3H_6O_2$ +50% H_2O ; 4-25% $C_3H_6O_2$ +75% H_2O ; 5-100% H_2O .

Кривая линии приведенный на рисунке 1 описывается уравнением:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[-0,548 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 1,362 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,187 \right] . \quad (2)$$

Анализ значение λ_1 исследуемых образцов при $T_1=380K$ и $P_1=29,43MPa$ показало, что они является функциями внешнего давления:

$$\lambda_1 = f(P, MPa) \quad (3)$$

Значение λ_1 графически показана на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2 коэффициент эффективной теплопроводности глицерин как в чистом виде, так и содержащей различные количество воды (0 от 100% H_2O) зависит от давления (P, MPa). С ростом давление коэффициент теплопроводности при постоянном температуры растет по линейному закону.

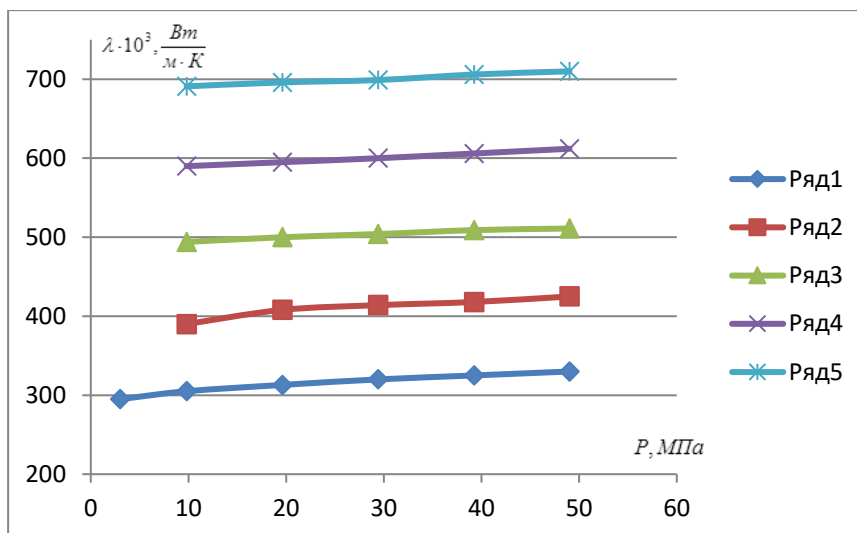


Рис. 2- Зависимость λ_1 для исследуемых растворов от давление: 1-100% $C_3H_6O_2$; 2-75% $C_3H_6O_2$ +25% H_2O ; 3-50% $C_3H_6O_2$ +50% H_2O ; 4-25% $C_3H_6O_2$ + 75% H_2O ; 5-100% H_2O .

Далее для уравнение графиков приведенный на рисунке 2 используем следующее выражение:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*} = f\left(\frac{P}{P_1}\right), \quad (4)$$

где λ_1 и λ_1^* -коэффициент эффективной теплопроводности растворов при $T_1=380K$ и давления $P_1=29,43MPa$.

Выполнимость выражение (4) показана на рисунка 3.

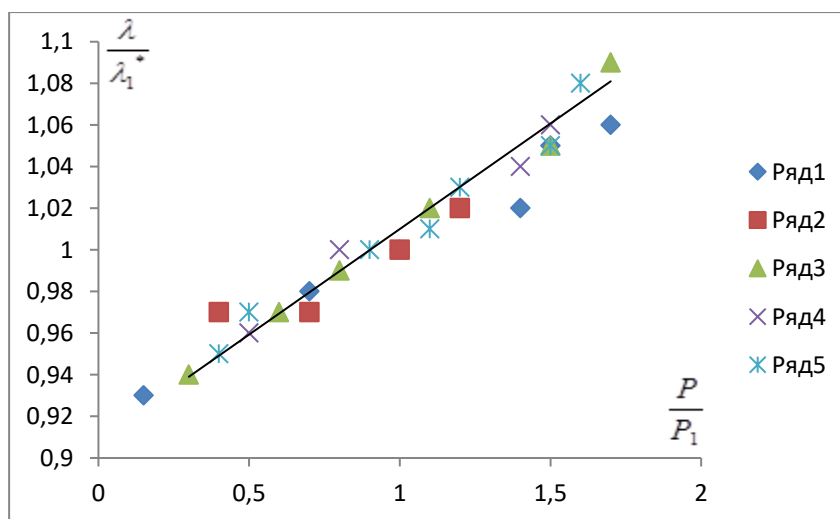


Рисунок 3- Зависимость относительной коэффициент эффективной теплопроводности (λ_1/λ_1^*) от относительной давления (T/T_1): 1-100% $C_3H_6O_2$; 2-75% $C_3H_6O_2$ +25% H_2O ; 3-50% $C_3H_6O_2$ +50% H_2O ; 4-25% $C_3H_6O_2$ + 75% H_2O ; 5-100% H_2O .

Как показал результаты обобщение данных по коэффициент эффективной теплопроводности от давление в относительном форме изменяется по закону прямой линии.

Уравнение прямая линии приведенный на рисунке 3 имеет следующий вид:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1^*} = 0,105 \left(\frac{P}{P_1} \right) + 0,91. \quad (5)$$

Результаты выбранных значение (λ_1^*) из таблиц (экспериментальные данные) показалось, что они являются функциями $\lambda_1^* = f(n_{H_2O})$ концентрации воды (процентного содержания) присутствующий в растворе (электролите) (рисунок 4).

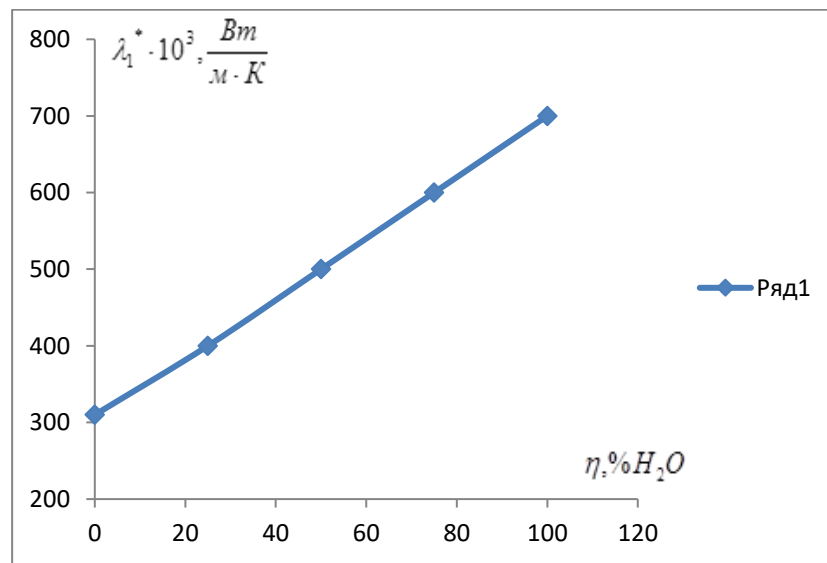


Рис. 4. - Зависимость λ_1^* от массовой концентрации обычной воды.

$$\lambda_1^* = (3,8 \cdot n_{H_2O} + 320) \cdot 10^{-3}, \frac{Вт}{(м \cdot К)} \quad (6)$$

Из уравнение 5 и 6 получим:

$$\lambda_1 = \left[0,105 \left(\frac{P}{P_1} \right) + 0,91 \right] (3,8 n_{H_2O} + 320) \cdot 10^{-3}, \frac{Вт}{(м \cdot К)} \quad (7)$$

На основе уравнение (1) и (6) получим:

$$\lambda = \left[-0,548 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 1,362 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,187 \right] \left[0,105 \left(\frac{P}{P_1} \right) + 0,91 \right] (3,8 n_{H_2O} + 320) \cdot 10^{-3}, \frac{Вт}{(м \cdot К)} \quad (8)$$

С помощью эмперического уравнение (8) можно рассчитать коэффициент эффективного теплопроводности исследуемых растворов при различных температурах, давлениях и концентрации воды с погрешностью до 2-3,5%. Для данного подсчета коэффициент эффективного теплопроводности исследуемых

электролитов по выражение (8) необходимо знать концентрации воды, температуры и давления.

Выводы

1. Изучен теплопроводность системы глицерин+вода и прогнозировано теплофизических свойств системы на основе их молекулярных структур.

2. Показано, что теплопроводность исследуемых теплоносителей при заданной температуре с ростом давления увеличивается.

3. При обработке и обобщении экспериментальных данных получены аппроксимационные зависимости, устанавливающие связь между теплофизическим свойствам теплоносителей от давления, температуры и концентрации воды.

Литература

1. Томишко, М.М., Алексеев А.М., Клинова Л.Л., Томишко А.Г., Демичева О.В., Чмутин И.А. Нанотехника, 2006, № 1, С. 15-17.

2. Демичева, О.В., Мешков Г.Б., Сеницына О.В., Томишко А.Г., Яминский И.В. Российские нанотехнологии, 2008.М.:234с.

3. Анакулов М.М. Влияние наноматериалы на изменение теплофизических свойств некоторых теплоносителей./Дис.на соиск.уч.степ.канд.техн.наук., Казань,2011.-127с.

4. Зарипова, М. А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях. /Мохира Абдусаломовна Зарипова //Авт.дисс.... д-ра т.н., Казань, 2016, -43с.

Сведения об авторах:

Зарифзода Мохира Абдусалом (Зарипова Мохира Абдусаломовна) – доктор технических наук, доцент, и.о. профессор кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика» ТГУ им. акад.М.С.Осими. Тел: (+992) 931-81-57-11. E-mail: mohira.zaripovs@list.ru

Сафаров Парвиз Махмадалиевич – докторан PhD кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика» ТГУ им. акад.М.С.Осими, Тел: (+992) 777-111-321. E-mail: psafarov6@gmail.com

ТАЪСИРИ НАНОХОКАҲО (ДУДА, ГРАФИТ ВА ХОКАҲОИ МЕТАЛЛӢ) БА ТАҒЙИРӢБИИ ХОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКӢ ВА ЭЛЕКТРОФИЗИКИ ПОЛИМЕРҲО

¹Муҳаммадали Қ., ²Сафаров М.М.

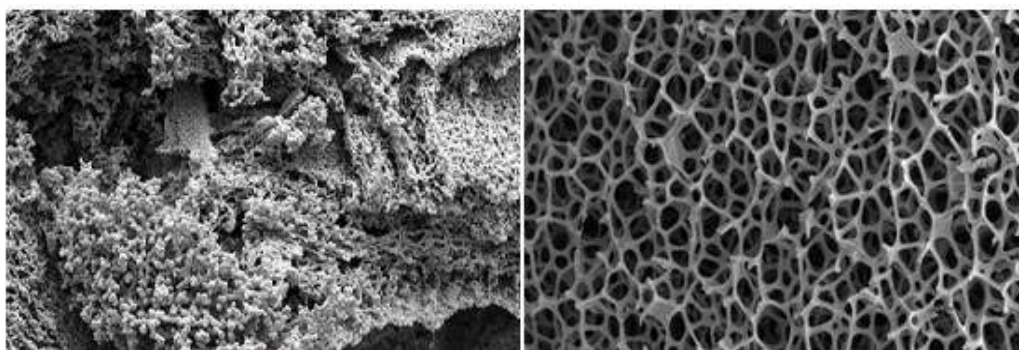
¹ Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав, ш. Бохтар.

² Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Барои ба даст овардани полимерҳои тақвиятёфтаи дорои хосиятҳои баланди гармофизикӣ ва электрофизикӣ аз хокаҳои металлӣ ва нанохокаҳои фуллеренмонанд ба монанди дуда, графит ва ғайра истифода мебаранд [1,3]

Дар солҳои охир талабот ба ин намуди полимерҳои тақвиятёфта рӯз то рӯз зиёд гардида ниёз ба ин намуди материалҳо бештар шудааст. Тадқиқотҳо дар ин самт нишон медиҳад, ки истифодаи якҷояи полимерҳо бо пуркунандаҳои дуда, графит ва хокаҳои металлӣ сохтори полимерҳоро аз нуқтаи назари физикӣ тақвият дода, материалҳои аз ҷиҳати мустаҳками тобовар, сӯхтанашавандаю электрогузаронанда буда, хосиятҳои магнитӣ ва ғайраҳоро дар худ зоҳир мекунад.

Дуда пуркунандаи электротехникӣ буда, бештар бо номи карбони техникӣ (технический углерод, сажа) маъмул мебошад. Дар тадқиқотҳои рентгении дифраксионӣ нишон дода шудааст, зарраҳои дуда аз кристалҳои хурди алоҳида иборатанд, ки ба монанди кристалҳои графит сохта шудаанд. Ҷойгиршавии атомҳои дуда (карбон) дар қабат ба мисли графит аст ва масофаи байни қабатҳо назар ба кристалҳои графитӣ калонтар аст. Бинобар ин ҷойҳое, ки нӯги қабатҳои параллелӣ дар сатҳи зарраҳои дуда пайдо мешаванд, энергияро меафзояд ва қобилияти адсорбсиониро низ зиёд мекунад. Маҳз ҳамин хусусиятҳоро ба инобат гирифта зарраҳои дударо барои ташаккул додани пайвастагиҳои занҷири ва тағйир додани хосиятҳои маводҳои полимерӣ истифода мекунад. Хосиятҳои дигари дуда дар он аст, ки ҷойҳои ғайриқобилияти баланди адсорбсия) дар сатҳи он инчунин метавонанд ҷузъҳои бегонаро (масалан, оксиген) –ро ба худ ҳамроҳ кунанд; ҳамроҳ шудани ҷузъҳои бегона сохтори дударо каме тағйир медиҳанд. Аз ин сабаб, гузаронандагии электрикии дуда дар баробари кам шудани ҳиссаи моддае, ки бо он ҳамроҳ карда мешавад зиёд мешавад. Омили дигаре, ки гузаронандагии дударо муайян мекунад, бузургии сатҳи хос мебошад, ки ба ҳаҷм ва ковокии зарраҳо вобаста аст. Ҳамин тариқ, дуда (карбони техникӣ) ки ҳамчун пуркунандаи барқгузарон дар техника пазируфта шудааст бояд дорои хусусиятҳои зерин бошад: сатҳи баланди адсорбсия, ковокӣ ва андозаи хурди зарраҳо, миқдори ками ғайриқобилияти идоранашаванда ва дараҷаи баланди сохтор.

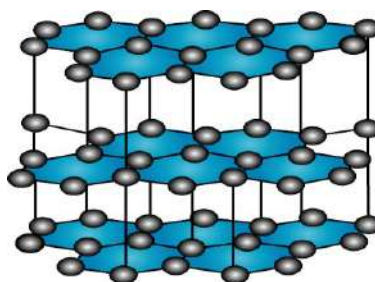


Рас. 1. Микрофотографии карбони техникӣ, дуда

Карбони техникӣ, дуда ки дар натиҷаи таъзияи баъзе моддаҳо (нефт, ангишт ва ғайра) коркард шудааст, диаметри миёнаи заррачаҳо аз 10 то 300 нм-ро ташкил медиҳад. Зичии миёнаи дуда тақрибан ба 2000 кг/м^3 буда, гузаронандагии электрикии он аз навъҳои он вобастаги дорад ва ба таври васеъ фарқ мекунад. Навъҳои маъмултарини дуда дорои гузаронандагии электрикӣ аз 1 то 100 (Ом см)^{-1} мебошанд.

Навъҳои дигаре, ки хосиятҳои электрикии полимерҳоро тағйир медиҳад, ин хоқаҳои металлӣ мебошад. Ҳангоми ба полимер ҳамроҳ кардани як микдор хоқаҳои металлӣ (Cu, Al, Ni, Zn, Au, Ag), танҳо дар концентратсияҳои баланд, аз ҳисоби ҳиссаи хоқаҳои металлӣ электрогузаронӣ ба даст оварда мешавад, зеро дар рӯи зарраҳо бисёре аз металлҳои мавҷуда, дар аксари мавридҳо плёнкаи оксиди пайдо мешавад, ки интиқоли зарраҳои заряднокро дар полимер қатъ мекунад. Ғайр аз ин, зичии металлҳо аз зичии полимер хеле зиёд аст, ҳангоми ворид кардани ҳиссаи муайяни хоқаҳои металлӣ ба сохтори полииммер массаи молекулавӣ он тағйир ёфта зичиаш хеле меафзояд. Истифодаи усулҳои махсуси омехтакунии истифодаи заррачаҳои металлӣ ғайриоддӣ дар шаклҳои гуногун метавонад, дараҷаи гузаронандагии электрикиро кам кунад.

Яке аз пуркунандаи дигари бештар истифода шаванда графит ба ҳисоб меравад. Маълум аст, ки панҷараи кристалии графит аз маҷмӯи ҳамвориҳо иборат аст, ки дар ҳар яки ин ҳамвориҳо атомҳои карбон тӯри шашкунҷаҳои муқаррарии тарафҳояшон $0,1418 \text{ нм}$ -ро ташкил медиҳанд.



Рас. 2-Сохтори панҷараи кристалии графит.

Дар байни ҳамвориҳо пайвасти π -алоқаҳо хеле зиёд аст (масофаи байни алоқаҳо 0,335 нм), аз ин рӯ ҳамвориҳо нисбатан сусти пайвасти шудаанд ва графит ба осонӣ аз қабатҳо ҷудо мешавад. Зичии графит 2000-2100 кг / м³ мебошад. Электргузаронии графит дар ҳамвори қабатҳо мисли металлҳо буда, дар ин ҳолат хусусияти электрогузаронӣ графит ба 10^4 (Ом см)⁻¹ мерасад. Ҷараёнгузаронии электрикӣ дар самти перпендикуляр нисбат ба қабатҳо аз бисёр ҷиҳат ба ташаккули сохтори кристал ва ҳамчунин аз омехтаҳо, ғашҳо ва як қатор омилҳои дигар вобаста аст. Бузургии анизотропи будани кристал дар доираи хеле васеъ аз 250 то 10^4 электрогузарони фарқ мекунад.

Графитҳои табиӣ, ки ҳамчун пуркунандаи электротехникӣ истифода мешаванд, дорои сохтори поликристаллӣ буда, миқдори зиёди карбонҳои аморфӣ доранд, бинобар ин, қобилияти электрогузаронии ҷунин графитҳо паст аст. Илова бар ин, заррачаҳои графит қобилияти ташаккул додани сохторҳои занҷирро надоранд, бинобар ин барои зиёд намудани электрогузаронӣ тавассути ворид кардани концентратсияҳои зиёди пуркунандаҳо ба даст оварда мешавад. Ҳамчун дар нитиҷаи ворид кардани концентратсияҳои зиёди пуркунандаҳо хосиятҳои физики ва механикии маводро кулан тағйир медиҳад. Бо ҳамин сабабҳо графити табиӣ, гарчанде ки хеле арзон (камтар аз 0,5 доллар/кг) бошад ҳам, пештар ҳамчун пуркунандаи афзуншавандаи электрогузаронанда ба ҳисоб намерафт. Аммо, маълумоти охири дар бораи усулҳои нави пуркунӣ метавонад ин нуқтаи назарро тағйир диҳад. Тадқиқотҳои охири олимони нишон доданд, ки ҳангоми ба графит ворид кардани акцепторҳои электрони қавӣ (SbF_5 , AsF_5), ки пайвастиҳои ба истилоҳ графитӣ байниҳамдигарӣ ё қабатӣ ташкил медиҳанд, боиси баланд шудани электрогузаронӣ мегардад, ки ҳато аз электрогузарони баъзе металлҳо аз ҷумла мис ки яке аз металлҳои беҳтарини электргузаранда мебошад графити тақвиятёта аз мис дида электрогузаронӣ хуб мебошад. Истифодаи ҷунин пайвастиҳои ба монанди акцепторҳои электрони қавӣ дар баъзе ҳолатҳо хеле ҷолиб ба назар мерасанд.

Адабиёт

1. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. М., Химия, 1977.
2. Промышленные полимерные композиционные материалы. Пер. с англ., М., Химия, 1980, 472с.
3. В.Г. Шевченко. Основы физики полимерных композиционных материалов.

Москва, 2010, 99с

4.Н.Н.Трофимов, М.З.Канович, Э.М.Карташов, В.И.Натрусов, А.Т.Пономаренко, В.Г.Шевченко, В.И.Соколов, И.Д.Симонов-Емельянов. Физика композиционных материалов. М.: Мир, 2005, т.1,2.

5. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов.- Л.: Энергия, 1974.- 263 с.

6. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций.- М.: Мир, 1968.- 464 с.

Маълумотҳо оид ба муаллифон.

Муҳаммадали Қурбоналӣ омӯзгори кафедраи физикаи умумӣ. ДДБ ба номи Носири Хусрав. Сурога: Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Бохтар, кучаи Айни 59/5, Телефон: +992 901702500 E- mail: muhammadali9219@mail.ru

Сафаров Махмадали Махмадиевич – Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои техникӣ, профессор, профессори кафедраи “Техника ва энергетикаи гармо”-и ДТТ ба номи акад.М.С.Осимӣ

Сведени об авторах: Муҳаммадали Қурбонали – преподаватель кафедры общей физики. Бохтарского государственного университета им. Носира Хусрава, Адрес: Республика Таджикистан, г. Бохтар, улица Айни, 59/5, Телефон: +992 901702500 E- mail: muhammadali9219@mail.ru

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

Мингазетдинов И.Х., Желовицкая А.В., Ибрагимов Т.А., Галяветдинов И.Р.
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия
E-mail: IchMingazetdinov@kai.ru, AVZhelovitskaya@kai.ru

***Аннотация:** разработано устройство анаэробного сбраживания органических материалов с использованием катализатора $FeSO_4$ в жидком и гранулированном виде, что значительно увеличивает выход биогаза.*

***Ключевые слова:** биотопливо, биогаз, метантенк, возобновляемые источники энергии*

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR PRODUCING BIOGAS

***Annotation:** A device for anaerobic digestion of organic materials using a $FeSO_4$ catalyst in liquid and granular form has been developed, which significantly increases the yield of biogas.*

***Keywords:** biofuels, biogas, methane tank, renewable energy sources*

Проблема обеспечения людей дешевой экологически чистой энергией в настоящее время остро стоит во всем мире. Различные государства ищут разные пути решения, но при этом изучают опыт своих соседей. Экологичность и доступность энергии выходят на первый план в решении этой сложной задачи. Взоры ученых все чаще обращаются к использованию в качестве источника топлива возобновляемых ресурсов нашей планеты. Потенциал в этой сфере большой, поскольку помимо первичных для всех дров в качестве источника топлива можно использовать растительные отходы, бытовые отходы, отходы производства, птицеводства и животноводства, что позволят решить не только проблему получения дешевой энергии, но и проблему утилизации отходов. Главной задачей ученых на сегодняшний день является разработка современных технологий, позволяющих эффективно решать энергетические задачи страны. На данном этапе истории особое внимание во всех странах мира уделяют биотопливу, получаемому в результате переработки органической биомассы. В качестве сырья в этом случае может использоваться как растительная биомасса, так и органические отходы. Их можно сжигать, газифицировать, перерабатывать для получения этилового спирта и биотоплива. Одним из наиболее доступных способов переработки органических отходов является использование биогазовых технологий. В этом случае биомассу загружают в специальную установку, где в процессе брожения из нее получают ценное экологически чистое удобрение и биогаз. Производство

биогаза экономически оправдано в случае, когда существует непрерывный поток перерабатываемого сырья [1].

Альтернативные виды энергии включают различные физические и химические процессы. К ним относятся ветровая энергия, волновые и энергетические процессы, солнечные панели с прямым преобразованием солнечной энергии и др. Одним из перспективных видов является получение биогаза из биологических отходов. Использование биогаза в качестве энергоресурса имеет преимущество по сравнению с традиционными энергетическими процессами, связанными со сжиганием угля, нефти, газа. Сжигание биогаза не увеличивает общее содержание CO_2 в атмосфере. Это обусловлено тем, что выделяющееся при сжигании биогаза выделяется такое же количество CO_2 , какое поглотило растение и выделило кислород в атмосферу. Сжигание биогаза особенно актуально для южных широт биосферы, с обильным производством биомассы.

Разработанное устройство (рис. 1) представляет цилиндрический корпус (1), содержащий камеры (4), разделенные перегородками с лабиринтными окнами (17) [2]. Камеры расположены последовательно: кислого, нейтрального, щелочного и метанового брожения. К переднему днищу корпуса (1) примыкает лопастной смеситель (2), с лопастями (3). Внутри смесителя и всего корпуса (1) расположен коаксиально центральный вал (7) подачи исходной смеси.

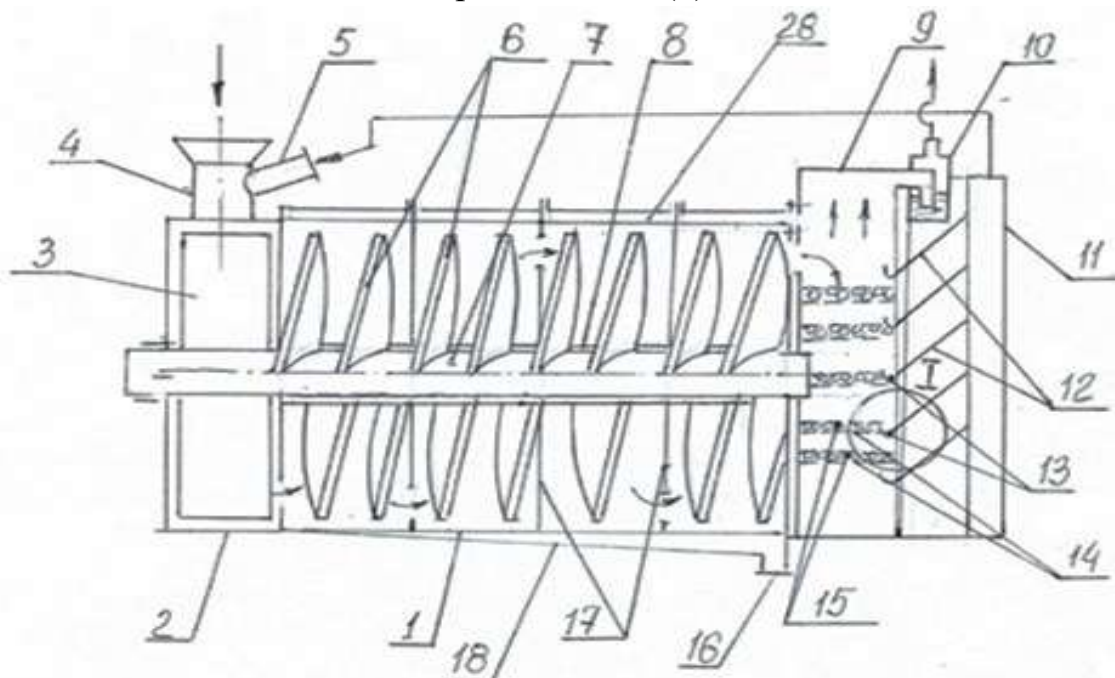


Рис. 1 – Каталитический метантенк

1 - корпус, 2 - лопастной смеситель, 3 - лопасти, 4 - загрузочное устройство, 5 - патрубок оборотной воды, 6 - лопасти шнека, 7 - центральный вал, 8 - инфракрасный излучатель, 9 - камера каталитическая, 10

- гидрозатвор, 11 - камера сбора оборотной воды, 12 - наклонные пластины, 13 - карнизы, 14 - сетки непровальные, 15 - гранулированный катализатор, 16 - патрубок отвода шлама из корпуса, 17 - перегородки, 18 - наклонный желоб, 19 - бункер, 20 - перемешивающие лопасти, 21 - крышка, 22 - вал подачи смеси, 23 - камера смешения, 24 - лопасти шнека подачи смеси, 25 - наклонные ножи, 26 - перфорированный сепаратор

На центральном валу (7) расположены лопасти смесителя (3) и лопасти шнека (6). На валу (7) внутри корпуса (1), между витками лопастей шнека (6) расположен пленочный инфракрасный излучатель (8) с питанием от сети. На корпусе лопастного смесителя (2) имеется бункер (19), примыкающий к загрузочному устройству (4). Внутри устройства (4) имеется вал подачи смеси (22), на котором имеются перемешивающиеся лопасти (20), лопасти подачи смеси (24) и наклонные ножи (25). Вал (22) вместе с лопастями и ножами приводится во вращение от внешнего привода через редуктор или другую передачу, что позволяет регулировать интенсивность подачи биомассы. Система измельчения вместе с ножами (25) позволяет измельчать и калибровать исходную массу до необходимых оптимальных размеров (20-25 мм).

Заключение

Среди большого разнообразия альтернативных экологически чистых возобновляемых источников энергии получение биотоплива из отходов сельскохозяйственного производства является особенно привлекательным для южных районов с теплым климатом и солнечными днями, благоприятными для аграрного производства. Зеленые насаждения сами являются прямыми преобразователями солнечной энергии и использование их отходов как энергоносителей значительно повышает общий КПД. Использование солнечных панелей связано со сложной технологией добычи, изготовления, утилизации и отчуждением значительных площадей от сельскохозяйственного производства.

Применение биотехнологий наиболее оправдано в агропромышленном комплексе, поскольку это не только дает предприятиям определенные конкурентные преимущества, но создает благоприятные условия для инвестиционной привлекательности данного сектора экономики.

Литература

1. Земсков, В. И. Проектирование технических систем производства биогаза в животноводстве: учебное пособие / В. И. Земсков, И. Ю. Александров. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 312 с. Текст: электронный // Лань: электронно-

библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/209858> (дата обращения: 07.12.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей).

2. Патент РФ № 217373 Каталитический метантенк / Мингазетдинов И.Х., Желовицкая А.В.: заявл. 18.01.2023; опубл. 29.03.2023

Сведения об авторах:

Мингазетдинов И.Х. – доцент, кандидат технических наук кафедры общей химии и экологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»

Желовицкая А.В. – доцент, кандидат химических наук кафедры общей химии и экологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»

Ибрагимов Т.А. – магистр кафедры общей химии и экологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»

Галяветдинов И.Р. – магистр кафедры общей химии и экологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»

ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ

Павлов П.И.¹, Савинов А. В.¹, Захаров Ю.А.¹, Дивин А.Г.¹

*¹ Тамбовский государственный технический университет,
Россия, г. Тамбов*

Информационно-сенсорные системы и устройства являются неотъемлемой частью роботизированных платформ. При помощи сенсоров осуществляется навигация в пространстве, происходит сбор первичной информации об окружающей среде, а также осуществляется контроль качества изделий и материалов. В последнее время получил широкое распространение бесконтактный тепловой контроль качества материала объектов, основанный на зависимости его теплофизических свойств, таких как теплопроводность, теплоёмкость от состава и структуры [4]. На первом этапе развития средств неразрушающего теплового контроля в приоритете были контактные сенсоры теплофизических свойств. Так, например, Андрю Расселом и Френком Паолони был сконструирован датчик измерения теплофизических свойств объектов [5] для робота-манипулятора. Используя математическую модель и выходной сигнал датчика, можно было определять теплофизические свойства неизвестного объекта, что позволяло вычислительной системе робота-манипулятора различать изделия, изготовленные из различных материалов, выявлять наличие внутренних дефектов.

Так как тепловые процессы достаточно инерционны, а для полного обследования объекта необходимо было определять теплофизические свойства в разных точках его поверхности, нетрудно предположить, что время полного обследования крупногабаритных изделий было достаточно велико. Кроме того, для исключения зависимости измерительной информации от тепловых контактных сопротивлений необходимы предварительные операции по подготовке поверхности объекта, а для обеспечения постоянной силы прижатия измерительного зонда к объекту целесообразно использовать силомоментные датчики.

В связи с этим, в настоящее время активно развиваются бесконтактные методы теплового контроля [1-3].

На кафедре «Мехатроника и технологические измерения» Тамбовского государственного технического университета разработан роботизированный комплекс, реализующий один из вариантов теплового контроля – динамическую точечную лазерную термографию. В этом методе робот-манипулятор (рис. 1) сканирует лазером поверхность изделия, а тепловизионная камера (тепловизор) регистрирует температурное поле вдоль

линии сканирования. В качестве робота используется манипулятор PASKAL DELTA 5X-ARMDUINO (см. рис. 2) со сферической зоной обслуживания (далее — Delta 5X), изготовленный в г. Челябинск (Россия). Для получения информации о температурном поле объекта контроля применяется тепловизионная камера COX CG640.



Рис. 1. Установка для динамической точечной лазерной термографии

В качестве объекта контроля использовалась плита стеклопластиковая с полимерсотопластом и с искусственными дефектами типа «Отслоение обшивки».

На рис. 2 показан пример термограммы – зависимости температуры от координаты вдоль линии сканирования через 1, 2 и 3 секунды после достижения максимальной температуры на поверхности изделия.

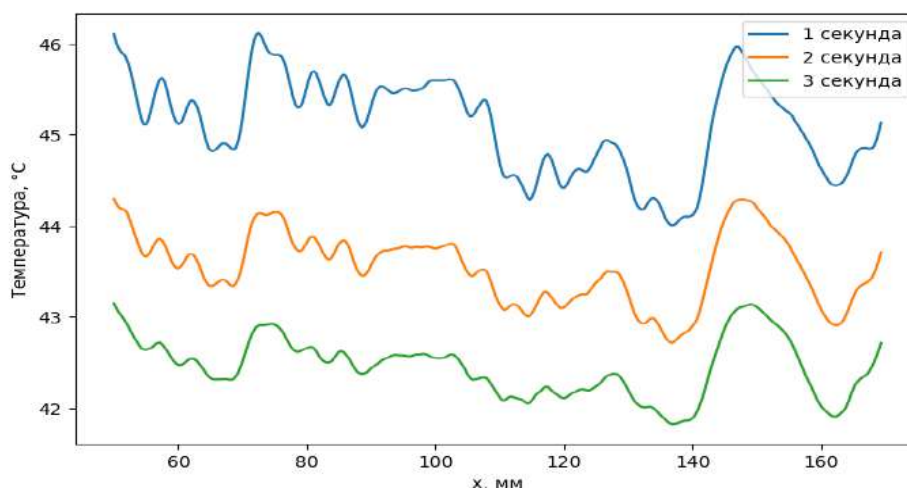


Рис. 2. Термограммы вдоль линии сканирования через 1, 2 и 3 секунды

На термограммах дефект проявляется в виде локального повышения температуры в интервале 140-160 мм. Колебания температуры на остальных

участках линии сканирования вызваны наличием сот под обшивкой контрольного образца.

Выводы

Анализ термограмм позволил предложить регрессионные модели для определения глубины залегания дефекта и его поперечного размера по линии сканирования. При этом коэффициент детерминации R^2 оказался не хуже 0,9, что позволяет говорить о приемлемости предложенных моделей для применения на практике.

Литература

1. Головин Д.Ю., Термографические методы и средства для измерения температуропроводности и дефектоскопии керамических и композитных материалов./ Головин Д.Ю., Дивин А.Г., Самодуров А.А., Тюрин А.И., Головин Ю.И.//В сборнике: Управление большими системами. материалы XVI Всероссийской школы-конференции молодых учёных. 2019. С. 141-147.

2. Головин Д.Ю., Динамические термографические методы неразрушающего экспресс-контроля./Головин Д.Ю., Тюрин А.И., Самодуров А.А., Дивин А.Г., Головин Ю.И.//Сер. Мир материалов и технологий. Москва, 2019.

3. Thermal stresses applied on helicopter blades useful to retrieve defects by means of infrared thermography and speckle patterns / F. López [и др.] // Thermal Science and Engineering Progress. – 2020. – С. 1-9.

4. Automated transient thermography for the inspection of CFRP structures: experimental results and developed procedures / P. Theodorakeas [и др.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2011. – С. 1-11.

5. A Robot Sensor for Measuring Thermal Properties of Gripped Objects / R. A. [Russell](#) [и др.] // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 1985. – С. 458-460.

Сведения об авторах

Павлов Павел Иванович, студент ФГБОУ ВО ТГТУ, Тел.: + 7 (900) 519-67-39. E-mail: Ppaasshhaaj@mail.ru

Савинов Антон Сергеевич, студент ФГБОУ ВО ТГТУ, Тел.: +7 (902) 72-46-349. E-mail: anton.groz.07@gmail.com

Захаров Юрий Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО ТГТУ, Тел.: +7 (920) 237-56-53. E-mail: zaharov.y.a@ya.ru

Дивин Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Научно-исследовательская лаборатория "Интеллектуальные мехатронные системы" (НИЛ ИМС), Тел.: (4752) 63-00-37. E-mail: agdv@yandex.ru

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИОСТАТОВ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЕЙ И ТРАНСФОРМАТОРОВ С КРИОГЕННОЙ СРЕДОЙ

Рыковский Н.А., Кузьменко С.В.

Научный руководитель: Манусов В.З.

НГТУ, г. Новосибирск, Россия

E-mail: n.a.rykovsky@nsawt.ru

Аннотация: В работе описываются актуальные вопросы разработки и оптимизации криостата, играющего ключевую роль в электроустановках с использованием сверхпроводников и криогенного эффекта диэлектрической среды, в частности, жидкого азота

Ключевые слова: криостат, криогенная среда, ВТСП-трансформатор, СПИН, жидкий азот

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF CRYOSTATS FOR STORAGES AND TRANSFORMERS WITH CRYOGENIC ENVIRONMENT

Annotation: The paper describes actual issues of development and optimisation of cryostat, which plays a key role in electrical installations using superconductors and cryogenic effect of dielectric medium, in particular, liquid nitrogen

Keywords: cryostat, cryogenic environment, HTS transformer, SPIN, liquid nitrogen

В настоящее время всё большее признание и развитие приобретают электроустановки, использующие криогенный эффект диэлектрической среды в виде жидкого азота для обеспечения сверхпроводящих свойств электропроводников. При этом существенную роль в системе охлаждения играют конструкции и свойства такого важного элемента, как криостат, которые ещё недостаточно изучены и разработаны.

Криостат – это специальный сосуд с криогенной средой, который является важной частью в реализации электрических установок со сверхпроводимостью. В целом система состоит из трёх элементов: охлаждаемый объект, диэлектрическая охлаждающая среда и криостат. При этом разработка и оптимизация конструкции криостата должна учитывать некоторые особенности и условия, которые изложены ниже.

Прежде всего необходимо учесть возможные габариты разрабатываемого криостата: размеры рассматриваемых таких электрических установок как

сверхпроводниковый накопитель индуктивного типа и трансформатор с обмотками из высокотемпературных сверхпроводников будут разными.

Также целесообразно уделить внимание и наличию пространства для заполнения криостата криогеном. Оно может быть небольшим, так как криогенная жидкость при взаимодействии с материалами сосуда и электрической установки охлаждает их до собственной температуры, частично испаряясь.

Для нахождения массы испарившейся жидкости можно воспользоваться следующей формулой [1].

$$(m_u)_{зан} = \frac{m_K}{C_{p.n.}} \left[\frac{A'_3}{3} (1 - \Theta^3) + 0,5(A'_2 - A'_3 \mu)(1 - \Theta^2) + (A'_1 - A'_2 \mu - A'_3 \mu^2)(1 - \Theta) + \right. \\ \left. + (A_0 - A'_1 \mu + A'_2 \mu^2 - A'_3 \mu^3) \ln \frac{1 + \mu}{\Theta + \mu} \right], \quad (1)$$

где m_K – масса конструкции, кг; $C_{p.n.}$ – удельная теплоёмкость пара, Дж/(кг·°K); $A'_i = A_i T_{o.c.}^{4-i}$, где A_i – расчетные коэффициенты; $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды, °K; Θ – безразмерная температура; μ – зависящая от размера тела и материала константа.

Тем не менее, не стоит забывать о том, что криостат имеет высокую эффективность, если полностью изолирован от окружающей среды, без учёта системы криообеспечения. Если не обеспечить выход образующегося пара от криогенной жидкости в сосуде, то возрастающее внутреннее давление в лучшем случае приведёт к деформации криостата, а в худшем – к взрыву.

Для предотвращения этого можно использовать дренажную систему на выходе жидкости из криостата. В этом случае не получится полностью изолировать криогенную среду и находящуюся в ней электрическую установку, однако это простой и дешёвый способ. Более дорогой, но эффективный – использование для откачки пара вакуумные насосы. Возможен и комбинированный вариант.

Тем не менее, решение вышеописанных проблем не позволяет делать его из материалов с низкой механической прочностью: сосуд должен выдерживать низкие температуры и вес электрической установки. В качестве материала корпуса часто применяется сталь, при этом для обеспечения требуемого уровня изоляции внутренностей от внешней среды, криостат состоит двух стенок, между которыми создаётся вакуум. Сама же внутренняя стенка собирается из изоляционного материала, который имеет большее влияние в сохранении температуры внутри сосуда, в связи с чем проводятся различные исследования в данном направлении.

Существуют несколько важных формул, которые применяются для расчета протекающего процесса сложного радиационно-конвективного теплообмена через многослойные стенки криостатов: дифференциальное уравнение теплопроводности для стационарного процесса в плоской стенке (2), уравнение Ньютона-Рихмана (3) и закон Фурье (4) для учёта теплопередачи теплопроводностью, а также уравнение Стефана-Больцмана (5) для учёта радиационного теплообмена [2].

$$\frac{\delta^2 t}{\delta x^2} = 0, \quad (2)$$

где t – температура плоской стенки, $^{\circ}K$; x – положение точки съёма значения температуры, м.

$$Q = \alpha F \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $m^2 \cdot c$; F – поверхность теплообмена, m^2 ; ΔT – средняя разность температур между жидкостью и твёрдой стенкой сосуда по всей его площади, $^{\circ}K$.

$$Q = -\lambda \cdot grad(T), \quad (4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности; $grad(T)$ – температурный градиент, $^{\circ}K$.

$$Q = \varepsilon C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (5)$$

где ε – интегральная поглощательная способность тела; $C_0 = 4,96$ ккал/($m^2 \cdot ч \cdot ^{\circ}K^4$).

Следует отметить, что криогенная среда является отличным диэлектриком и практически не взаимодействует с протекающими электромагнитными процессами в помещённой электрической установке. Однако, на сегодняшний день всё ещё возникают трудности с точным определением показателя диэлектрической прочности. Именно поэтому всё ещё актуальны исследования в данном направлении: необходимо точно знать значения, при которых может произойти пробой.

Важно какая криогенная жидкость будет находиться в криостате. На промышленном рынке можно найти следующие криогены: жидкий гелий, жидкий водород, жидкий азот и жидкий аргон. Авторы считают, что наилучшим вариантом является жидкий азот.

Жидкий азот обладает высокой диэлектрической проницаемостью, что означает его способность поддерживать электрическое поле без проводимости. Это свойство делает его привлекательным диэлектриком для применения в электрических системах, таких как трансформаторы и накопители энергии.

Высокое диэлектрическое силовое поле жидкого азота может быть использовано для эффективной изоляции электрических компонентов в энергетических устройствах, обеспечивая надежную работу системы.

При низких температурах, на которых происходит жидкий азот, его электрическая проводимость крайне низка. Это означает, что жидкий азот может эффективно действовать как изолятор, предотвращая протекание тока через системы, в которых он применяется.

Низкая электрическая проводимость делает жидкий азот подходящим для использования в трансформаторах и накопителях энергии, где важна минимизация потерь электроэнергии из-за проводимости.

Жидкий азот является химически стабильным и не реагирует с большинством материалов. Это свойство позволяет использовать его без опасений о химической несовместимости с другими компонентами системы. Кроме того, он является частью атмосферного воздуха и экологически совместим с окружающей средой, что делает его привлекательным для использования в технологиях, где важна экологическая безопасность.

Важно уделить внимание и оптимизации криостата для снижения расхода криогенной жидкости. В основном это проявляется ещё на конструкционном проектировании сосуда: отдаётся предпочтение максимально компактной, повторяющей электрическую установку форме с возможным добавлением перегородок и рёбер для увеличения прочности. Всё это, как показывают исследования [3], является нерациональным в связи с повышенным давлением на плоских участках и удорожанием производства из-за укрепляющих элементов, которые ещё и ухудшали параметры теплоизоляции из-за их хорошей теплопроводности.

Стоит также упомянуть в качестве возможного элемента оптимизации расположение электрических установок в криостате. В зависимости от угла наклона будет изменяться коэффициент теплоотдачи, то есть процесс теплообмена между криогенной средой и устройством со сверхпроводимостью будет происходить медленно. Наилучшими вариантами наклона, исходя из исследований [4], являются 0 и 90 градусов.

Заключение

Таким образом правильная разработка и оптимизация криостата позволяет не только сохранять свойство сверхпроводимости электрической установки внутри, но и снизить расход хладагента, который в него вливается.

Литература

1. Пригожин, В.И. Методика расчета потерь жидкого водорода при подготовке системы подачи к огневому испытанию двигателя РД 0146 [Текст] / В.И. Пригожин, О.П. Свиридов, С.А. Курьянов // Международный научный журнал «альтернативная энергетика и экология». – 2008. – Вып. 3. – С. 69-73.
2. Шейн, С.Е. Разработка тепловой защиты для трансформатора с криогенным охлаждением [Текст] / С.Е. Шейн // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2019. – Вып. 3-4 (96). – С. 187-196.
3. Беляев, С.М. Особенности проектирования криостата для опытной модели ВТСП-трансформатора [Текст] / С.М. Беляев, Л.М. Инаходова, А.Л. Фролов, К.В. Фролов // Глобус: технические науки. – 2019. – Вып. 1 (25). – С. 41-43
4. Делов, М.И. Влияние ориентации теплоотдающей поверхности на теплоотдачу к жидкому азоту [Текст] / М.И. Делов, К.В. Куценко, А.А. Лаврухин

Сведения об авторах:

Рыковский Н.А. – старший преподаватель кафедры Информационных систем, ФГБОУ ВО «СГУВТ».

Кузьменко С.В. – аспирант 1-го курса, группы 2.4.3-23 кафедры «СЭСП», НГТУ.

Манусов В.З. – доктор технических наук, профессор кафедры «СЭСП», НГТУ

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ КОМПОЗИТОВ

Аминов Дж.Б., Рахимов Б.Н.

ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: Jahon_1004@mail.ru

Аннотация: В работе приводится поиск статистически значимых связей между удельной электропроводностью с теплопроводностью композиционных материалов на основе алюминия в интервале температур (298-673) К.

Ключевые слова: электропроводность – теплопроводность – металлы - композиционные материалы.

RELATIONSHIP BETWEEN THERMAL CONDUCTIVITY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF COMPOSITES

Abstract: The work provides a search for statistically significant relationships between the electrical conductivity and thermal conductivity of aluminum-based composite materials in the temperature range (298-673) K.

Key words: electrical conductivity – thermal conductivity – metals – composite materials.

Издавна известно, что металлы в равной мере хорошо проводят как тепло, так и электрический ток. Вместе с тем установлено, что лучше всего проводят ток и тепло, чистые металлы. В связи с этим, уместно было бы предположить, что природа электропроводности и теплопроводности металлов одна и та же. Физики установили, что переносчиками как электричества, так и тепла в металлах являются так называемые свободные электроны. Иначе говоря, чем больше теплопроводность вещества, тем больше его электропроводность и наоборот [1].

Из опыта известно, что наряду с высокой электропроводностью металлы отличаются также большой теплопроводностью. Видеман и Франц установили в 1853 г. эмпирический закон, согласно которому отношение коэффициента теплопроводности к коэффициенту электропроводности для всех металлов приблизительно одинаково и изменяется пропорционально абсолютной температуре. Способностью проводить тепло обладают и неметаллические кристаллы. Однако теплопроводность металлов значительно превосходит теплопроводность диэлектриков. Из этого можно заключить, что теплопередача в металлах осуществляется в основном не кристаллической решеткой, а электронами.

Исключение составляет алмаз, теплопроводность которого при температуре 200 К составляет 1400 Вт/(м·К) в то время, как у самого теплопроводящего металла, каким является серебро, она составляет 425 Вт/(м·К). При этом серебро является лучшим проводником тока, а алмаз – лучшим диэлектриком. Правда, серебро является металлом, а алмаз неметаллом.

Немецкие учёные Г.Видеман (G. Wiedemann) и Р.Франц (R. Franz), предложили физический закон (закон Видемана – Франца), согласно которому отношение коэффициента теплопроводности к удельной электропроводности металлов является функцией температуры [2].

$$\frac{\lambda}{\sigma} = \frac{\pi^2}{3} \cdot \left(\frac{k}{e}\right)^2 \cdot T \quad (1)$$

где λ – теплопроводность, Вт/(м·К); σ –удельная электропроводность, См·м⁻¹; k — постоянная Больцмана, e — заряд электрона. T – температура, К;

Теплопроводность металлов как функция электропроводности

В таблице 1 приведены расчётные данные по теплопроводности, и удельной электропроводности для некоторых чистых металлов (Al, и Cu,) а также композиционных материалов на основе алюминия при температурах (298-673) К. В связи с тем, что размерности всех физических величин в формуле (1) соответствуют международной системе, можно умножить обе части формулы на 10⁸ без потери информации. Графическое отображение этих данных показано на рисунке 1.

Стремление всех линий вверх параллельно друг другу на графике свидетельствуют о взаимосвязи между теплопроводностью и электропроводностью с увеличением температуры, в зависимости от процентного содержания объектов, а некоторые отличия точек от прямого говорят либо об ошибке при определении теплопроводности или электропроводности, либо о воздействии иных факторов, (примесей).

Таблица 1

Расчётные данные соотношений теплопроводности и электропроводности композиционных материалов на основе алюминия в зависимости от температуры

Эталонный образец №1 алюминий (слиток)																
<i>T, K</i>	298	323	348	373	398	423	448	473	498	523	548	573	598	623	648	673
λ	4,8	4,9	5,8	6,6	7,5	8,5	9,5	10,	11,	12,	13,	15,	16,	17,	18,	19,
λ $/\sigma \cdot 10^8$	4		8	1	9	7	5	5	3	5	5	2	2	4	8	6

Эталонный образец №2 медь (слиток)																
λ	4,9	5,9	7,6	8,5	9,1	10,	11,	13,	15,	17,	19,	22,	24	24,	29,	31,
$/\sigma \cdot l$	5	8	1	9		3	7	7	4	4	3	3		5	4	8
0^{-3}																
Образец №3 алюминий (порошок прессованный)																
λ	4,8	4,6	6,8	7,9	8,8	10	11,	11,	12,	13,	14,	15,	17,	18,	19,	20,
$/\sigma \cdot l$	1	6	8	5	4		2	9	5	7	9	7	4	6	3	8
0^{-3}																
Образец №4 алюминий 95% + углерод 5%																
λ	4,6	5,4	6,4	7,8	8,1	9,8	10,	11,	12	13,	14,	15,	17	18,	18,	20,
$/\sigma \cdot l$	5		2	6		2	9	8		1	8	4		1	6	1
0^{-3}																
Образец №5 алюминий 90% + углерод 10%																
λ	4,6	5,1	6,2	7,6	7,9	8,9	10,	11,	11,	12,	14,	14,	15,	17	17,	18,
$/\sigma \cdot l$	1	4		1	5		6	5	8	5	5	7	7		9	6
0^{-3}																
Образец №6 алюминий 85% + углерод 15%																
λ	4,4	4,9	5,8	6,9	7,8	8,8	10	10,	11,	12,	13,	14,	15,	16,	17,	18,
$/\sigma \cdot l$	1	7	8			4		3	6	2	8	5	4	8	6	1
0^{-3}																
Образец №7 алюминий 80% + углерод 20%																
λ	4,1	4,9	5,6	6,6	7,3	8,3	9,3	10	11	12	13,	13,	15	16,	16,	17,
$/\sigma \cdot l$			3	1	5	3	1				5	7		4	7	8
0^{-3}																
Образец №8 алюминий 70% + углерод 30%																
λ	3,6	4,4	4,9	5,6	6,6	7,1	7,8	8,5	9,3	10,	11,	12,	12,	13,	14	15,
$/\sigma \cdot l$	7			3	1		4	7	1	3	3	3	7	7		2
0^{-3}																

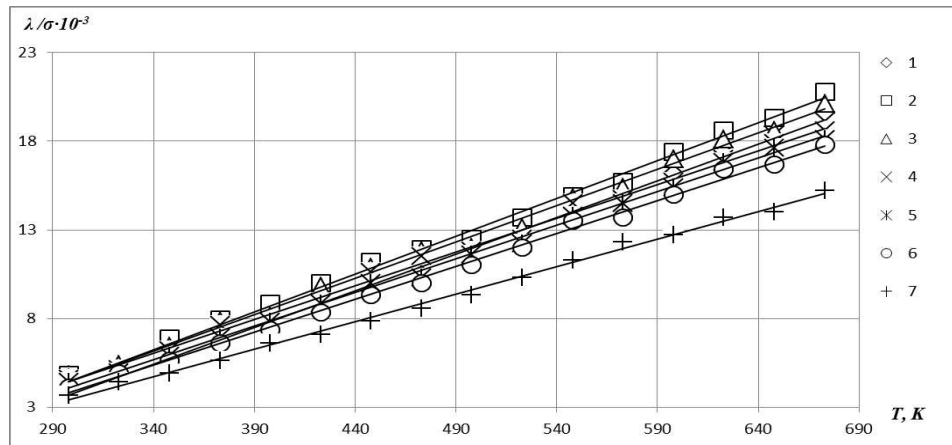


Рис. 1. Зависимость λ / σ от температуры, для углеродсодержащих композиционных материалов на основе алюминия: 1. алюминий слиток эталонный; 2. алюминий порошок прессованный; 3. алюминий 95% + углерод 5%; 4. алюминий 90% + углерод 10%; 5. алюминий 85% + углерод 15%; 6. алюминий 80% + углерод 20%; 7. алюминий 70% + углерод 30%

Заключение

Авторы данной работы, на основе экспериментальных данных по теплопроводности и электропроводности композиционных материалов установили, что действительно эмпирический закон, согласно которому отношение коэффициента теплопроводности к коэффициенту электропроводности для всех металлов приблизительно одинаково и изменяется пропорционально абсолютной температуре, действительно соблюдается.

Литература

1. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: “Металлургия”. 1980. 320с.
2. Физико-химические свойства элементов. Справочник. Под ред. Г.В.Самсонова. Киев, “Наукова думка”, 1965. 808с.

Сведения об авторах:

Аминов Дж.Б. – к.т.н. старший преподаватель кафедры «ТОР и Э», ТТУ имени академика М.С. Осими.

Рахимов Б.Н. – ассистент кафедры «ТОР и Э», ТТУ имени академика М.С. Осими.

ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ПОЖАРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Синицин В.И., Шильникова Е.А., Рослякова О.В.

Научный руководитель – д.т.н. Манусов В.З.

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Россия

E-mail: v.i.sinitsin@nsawt.ru

Аннотация: В данной статье описывается опасность трансформаторов при работе на минеральном масле. Рассмотрены проблемы пожарной и экологической безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций на трансформаторах. Предложены пути решения имеющихся проблем.

Ключевые слова: трансформатор, пожарная безопасность, экология, диэлектрическая среда, опасность, нормативная документация.

PROBLEMS OF REGULATORY DOCUMENTATION, FIRE AND ENVIRONMENTAL HAZARDS OF TRANSFORMERS

Annotation: This article describes the danger of transformers when working on mineral oil. The problems of fire and environmental safety in the event of emergency situations on transformers are considered. The ways of solving the existing problems are proposed.

Keywords: transformer, fire safety, ecology, dielectric medium, danger, regulatory documentation.

В современном мире трансформаторы являются одними из ключевых элементов энергетических систем, обеспечивающих электроснабжение в городах и на производствах. Возможность возникновения аварийных ситуаций, связанных с пожарами, является одной из основных проблем, с которыми сегодня сталкиваются производители и потребители энергии. Пожары, взрывы, утечки токсичных веществ и другие несчастные случаи, связанные с трансформаторами, существенно увеличивают риск экологической катастрофы и угрожают здоровью и жизни людей.

Опираясь на статистические данные сборника ВНИИПО МЧС России «Пожары и пожарная безопасность в 2021г.» [2] можно сделать вывод, что пожары на трансформаторах не являются исключением. Только за период с 2017-2021 гг. на трансформаторах произошло 2314 пожаров (рисунок 1). Основной причиной возникновения таких пожаров является повышенный срок эксплуатации трансформаторной жидкости. Такие случаи говорят о том, что

проблемы пожарной и экологической опасности трансформаторов являются актуальными и требуют усиленного внимания со стороны правительства, энергетических компаний и общественности.

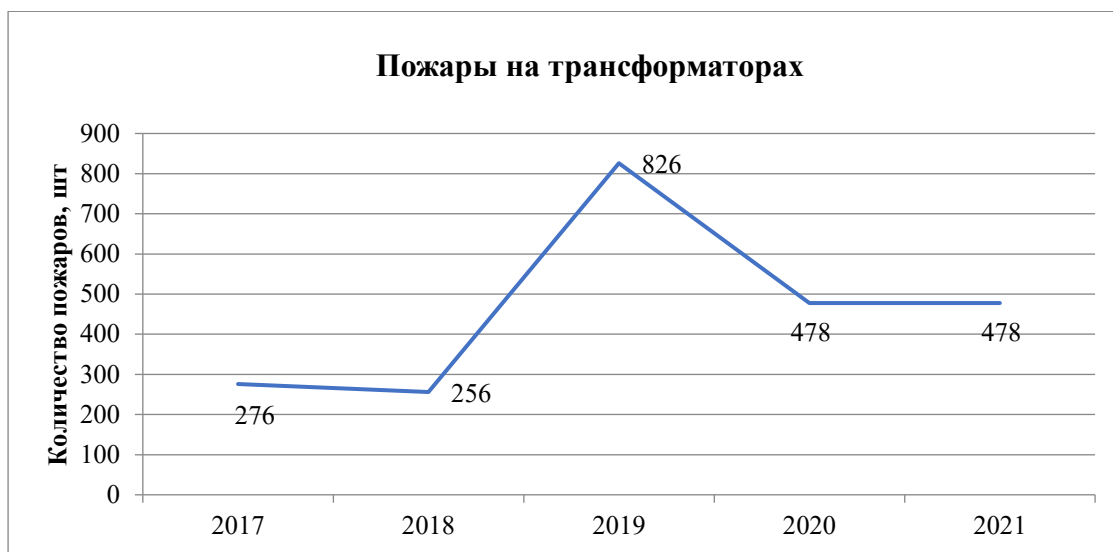


Рис. 1. – Пожары на трансформаторах в период с 2017-2021 года

В связи с этим, на сегодняшний день, разработка и внедрение нормативно-правовых актов в области электроэнергетики, а также методов повышения пожарной и экологической безопасности стали актуальными вопросами для специалистов отрасли электроэнергетики.

В настоящее время использование азота как диэлектрической среды приобретает все большую популярность в различных областях, таких как промышленность, энергетика, медицина и информационные технологии. Это обусловлено высокой химической стабильностью, относительной дешевизной и отличными изоляционными свойствами азота. В связи с этим, разработка новых нормативных документов для использования азота в качестве диэлектрической среды представляет собой актуальную задачу, требующую всестороннего подхода и внимания специалистов различных областей.

Одним из ключевых аспектов разработки новых нормативных документов является обеспечение безопасности в процессе использования азота в качестве диэлектрической среды. Это включает в себя установление требований к оборудованию, обеспечивающему хранение, транспортировку и применение азота, а также разработку стандартов для контроля качества используемого азота. Нормативные документы также должны устанавливать процедуры предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций, связанных с использованием азота. Также важным аспектом является разработка стандартов и руководящих документов для использования азота в электроэнергетике, а

именно требования к изоляции электротехнического оборудования с применением азота.

Основные причины возникновения пожаров являются повреждение обмоток и выработка ресурса диэлектрических сред трансформаторов. Для предотвращения этого необходимо проводить регулярные плановые проверки трансформаторов, следить за исправной работой и вовремя производить замену используемых диэлектрических сред. Рекомендуется использовать специальное оборудование для диагностики, которое позволяет выявлять любые отклонения в работе оборудования. Данные мероприятия не только способствуют снижению и предотвращению риска возникновения чрезвычайных ситуаций, но и продляет срок службы трансформаторов.

Одним из наиболее распространенных методов повышения пожарной безопасности является применение огнезащитных покрытий. Огнезащитные покрытия наносят на поверхность трансформаторного оборудования и служат для предотвращения возгораний и уменьшения скорости распространения пожара.

Другим не менее важным методом является установка систем пожарной сигнализации и противопожарных устройств, которые могут на раннем этапе определить возникновение пожара и, в сочетании со средствами противопожарной защиты, автоматически разрывать цепи, отключающие оборудование трансформатора, тем самым предотвращая распространение огня.

Несмотря на все вышеописанные мероприятия, также важно уделить особое внимание проведению пожарных тренировок для работников, которые задействованных при работе трансформаторов. Они должны быть готовы к возникновению различных чрезвычайных ситуаций, знать, как реагировать в случае возникновения аварийной ситуации, уметь применять и подбирать необходимый класс огнетушителей и быстро эвакуироваться из зоны опасности. Проведение тренировок и обучение персонала может стать ключевым компонентом в процессе повышения пожарной безопасности.

Одной из основных проблем экологической безопасности трансформаторов является их масляная изоляция. Трансформаторное масло используется для охлаждения и изоляции внутренних деталей трансформаторов. Если не следить за сроком эксплуатации диэлектрической среды, то может возникнуть аварийная ситуация.

Также существует проблема неправильной утилизации масла, что может нанести серьезный ущерб окружающей среде и здоровью людей. Для того, чтобы избежать подобных проблем следует строго контролировать процесс

хранения, перекачки и утилизации отработанного масла, и использовать для этого только сертифицированное оборудование.

Если же чрезвычайная ситуация все же наступила, необходимо задуматься о возможности сохранения окружающей среды. При авариях на трансформаторных подстанциях, с большой долей вероятности, может произойти выброс трансформаторного масла, представляющего собой сложные углеводороды. Минеральные трансформаторные масла, по причине долго разложения и интенсивного загрязнения, являются крайне опасными при попадании в почву и воду. Может произойти заражение не только участка аварии, но и ближайших территорий.

Во избежание подобных ситуаций, могут применяться различные инженерные и технические решения. Одно из них это возведение защитных экранов, препятствующих разливу нефтепродуктов. Это не только поможет ограничить зону аварийной ситуации, но и не допустит попадание нефтепродуктов в почву и воду.

Также возможно использование синтетического и растительного масла марки MIDEL [3]. Данная диэлектрическая жидкость используется во многих странах Европы, Азии и Африки. Этот бренд представляет собой линейку диэлектрических жидкостей, которые не только не уступают «классическому» минеральному трансформаторному маслу, но и значительно превосходят его как по пожарной безопасности, так и по экологической составляющей (таблица 1). MIDEL является полностью биоразлагаемой жидкостью, и имеет повышенную пожарную безопасность, которая характеризуется следующими показателями:

- температура воспламенения;
- температура вспышки;
- плотность дыма.

Таблица 1.

Сравнение диэлектрических сред

	MIDEL	Минеральное масло
Температура вспышки	260	150
Температура воспламенения	316	170
Плотность дыма	35%	100%

Данный вопрос является актуальным для отрасли электроэнергетики, потому что все современное общество является прямыми пользователями трансформаторов. В целом, пожарная опасность трансформаторов – это

серьезная проблема, которая требует внимания со стороны производителей, так и со стороны пользователей. Приведенные меры и надлежащее техническое обслуживание могут помочь снизить вероятность возникновения пожара и обеспечить безопасность персонала и окружающей среды от опасных явлений, который может принести утечка масла.

Список используемой литературы

1. ГОСТ 982-80 Масла трансформаторные. Технические условия [Текст]. – Введ. 1982-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 6 с.
2. Гончаренко В.С., Чечетина Т.А., Сибирко В.И., Мартемьянов С.И., Надточий О.В., Полехин П.В., Козлов А.А., Чебуханов М.А. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха. 2022 С. 116
3. Синицин В.И. Работа трансформаторов на минеральных и растительных маслах с учетом их пожарной и экологической безопасности // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2022. №3. С. 47–49.

Сведения об авторах:

Синицин Владислав Игоревич, аспирант 2-го курса кафедры «Электрооборудование и автоматика», «Сибирского государственного университета водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: v.i.sinitsin@nsawt.ru

Шильникова Екатерина Андреевна, аспирант 3-го курса кафедры «», «Сибирского государственного университета водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: v.i.sinitsin@nsawt.ru

Рослякова Оксана Вячеславовна, кандидат технических наук, заведующий кафедры «Техносферная безопасность» «Сибирского государственного университета водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: o.v.roslyakova@nsawt.ru

Манусов Вадим Зиновьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование и автоматика» «Сибирского государственного университета водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: v.z.manusov@nsawt.ru.

ТЕПЛОПОВОДНОСТЬ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА, НАСЫЩЕННОГО УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

Рамазанова А.Э.

*Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал
объединенного Института высоких температур РАН, г. Махачкала, Россия
e-mail: ada_ram@mail.ru*

Увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере – одна из наиболее важных экологических проблем. Ежегодно в атмосфере накапливается около 30 миллиардов тонн CO_2 . Очевидно, что уровень содержания CO_2 в атмосфере зависит от использования видов топлива (нефть, уголь, газ). Угольные электростанции являются основным в мире источником выбросов CO_2 . Электростанция мощностью 500 МВт ежегодно выбрасывает в атмосферу 3 миллиона тонн CO_2 . Лучшим способом решения данной проблемы является геологическое хранение CO_2 , выделяемого в атмосферу. Углекислый газ при выбросе от электростанций может быть уловлен, сжат, транспортирован и сохранен в подземных естественных резервуарах, где он может находиться под давлением выше 8 МПа (выше критического давления CO_2). Углекислый газ должен закачиваться в глубокие неиспользованные угольные шахты, истощенные нефтяные и газовые резервуары, обеспечивающие пропускную способность сотен миллиардов тонн CO_2 . Этот метод позволяет одновременно извлекать метан [1] и повышать нефтеотдачу [2]. Многие угольные шахты после извлечения метана и выдержки могут быть использованы для закачки CO_2 [3].

Для оценки, прогнозирования и контроля стабильности условий хранения необходимы исследования поведения CO_2 в пластах в сверхкритических условиях, а также изучение свойств резервуара и условий нахождения в нем газа. Одним из наиболее важных условий хранения CO_2 является изучение долгосрочного поведения CO_2 в резервуаре. При закачке CO_2 распространяется в пласте и взаимодействует с породой и находящимися в ней термальной водой, нефтью, их смесями. В результате меняются тепловые потоки через пласт и его теплофизические свойства. Поэтому, возникает необходимость изучения и моделирования процессов теплопереноса в пластах, а это невозможно без знания теплофизических свойств резервуарных пород, насыщенных флюидом. Для моделирования поведения сверхкритического CO_2 в подземном резервуаре-хранилище необходимы надежные теплофизические данные системы порода + СК CO_2 .

Закачиваемый CO_2 будет мигрировать из нагнетательных скважин в удаленные места хранения подземного резервуара, заполнять поры и

микротрещины и оставаться изолированным в течение значительного периода времени. Очевидно, что хранение CO_2 в пластах зависит от термодинамического РТ-состояния резервуарной среды.

Поведение CO_2 в пласте – сложный процесс, который зависит от множества факторов в системе пласта, включая минералогический состав, наличие трещин, динамику поровой жидкости и изменения в геохимических процессах, таких как растворение и осаждение минералов. И этот процесс может продолжаться в течение тысяч лет, пока накопленный в пласте CO_2 не преобразуется в твердый карбонат.

Температура пласта в резервуаре на глубине 800 м обычно колеблется от 300 К до 325 К, а диапазон давления до 20-30 МПа – это выше значений сверхкритического состояния CO_2 . Как известно, сверхкритический CO_2 обладает плотностью подобной жидкости и сжимаемостью подобной газу, поэтому он может храниться в больших количествах и легко занимать доступное пространство целиком. Эти превосходные физические свойства СК CO_2 можно использовать для углекислого газа в качестве нового рабочего агента вместо воды для извлечения тепла из горячей сухой породы, что является очень перспективным

Одной из важнейших задач в сверхкритической секвестрации и хранении CO_2 в пласте является создание модели, которую можно использовать для расчета термодинамических и транспортных свойств СК CO_2 в порах породы резервуарного пласта, что позволяет контролировать стабильность условий хранения. Детальное моделирование этих геотермохимических процессов в резервуарах, где храниться СК CO_2 , позволит предсказать и контролировать технологию самого процесса секвестрации СК CO_2 и сделать его оптимальным.

Для моделирования поведения CO_2 в сверхкритическом состоянии в подземном резервуаре-хранилище необходимы надежные теплофизические данные системы порода + СК CO_2 . Прежде чем интерпретировать полученные экспериментальные данные, необходимо понять поведение теплопроводности CO_2 , ограниченного в порах, при критических и сверхкритических условиях, т.е. нужно понять, какая разница между поведением теплопроводности СК CO_2 в объеме и в порах. Многие авторы для моделирования пластовых процессов, используют объемные критические свойства чистого CO_2 . Однако термодинамические и транспортные свойства СК CO_2 в порах и в объемах абсолютно различны. Такие данные в литературе отсутствуют.

Теплопроводность чистого CO_2 в СК состоянии хорошо изучена. Как известно, теплопроводность углекислого газа так же, как и другие его

термодинамические свойства [4] вблизи критической точки демонстрирует резкий максимум $\lambda \rightarrow \infty$, рис.1 (справочные данные).

Данный критический максимум теплопроводности может быть выражен че-рез радиус корреляции (ξ) как $\lambda \sim \xi^{\gamma/\nu} \rightarrow \infty$ при $T \rightarrow T_K$, где $\gamma = 1,24$ и $\nu = 0,63$ – универсальные критические показатели корреляционной длины (ξ). Также известно, что данное критическое усиление теплопроводности и других термодинамических свойств в критической точке для чистого CO_2 является результатом сингулярности радиуса корреляции

$$\xi = \xi_0 t^{-\nu} \rightarrow \infty, \text{ где } t = \frac{T - T_K}{T_K}$$

ξ_0 – порядка молекулярного размера от 0,1 нм до 0,3 нм.

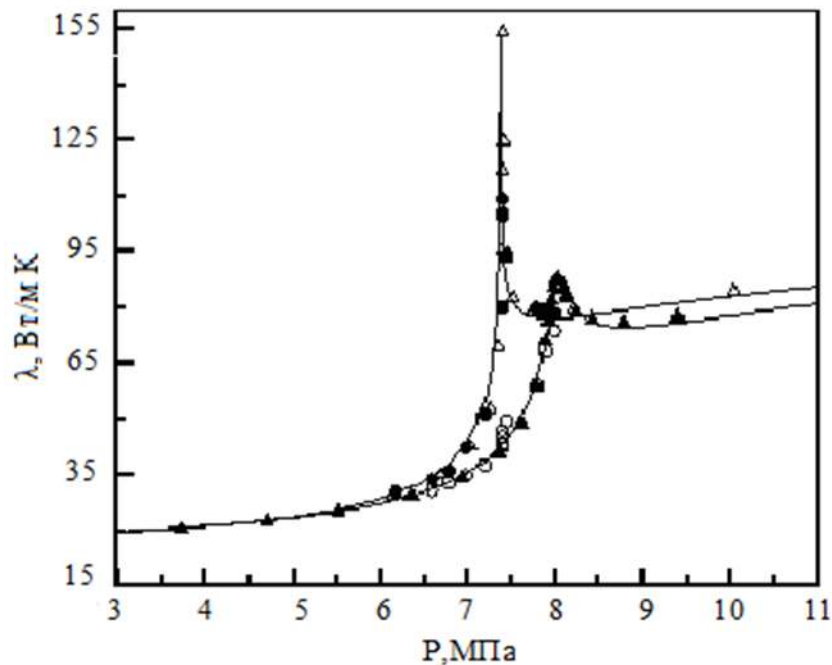


Рис. 1. Теплопроводность чистого СК CO_2 в зависимости от давления [4]

Однако термодинамические и транспортные свойства СК CO_2 в порах и в больших объемах абсолютно различны. В пласте, где CO_2 заключен в средах конечных размеров (порах), меняются термодинамические и транспортные свойства СК CO_2 по сравнению с его объемными свойствами, в частности теплопроводность CO_2 в порах уже не будет бесконечной в критической точке. Следовательно, меняются процессы, протекающие в пласте, процессы закачки CO_2 и условия хранения.

Измерения теплопроводности мы проводили стационарным методом плоско-параллельных пластин. Преимущество нашей экспериментальной установки состоит в том, что она позволяет проводить измерения теплопроводности при одновременном влиянии всестороннего давления,

температуры и флюидонасыщения. Погрешность измерения теплопроводности данным методом составляет $\approx 4\%$.

На рис.2 показаны результаты измерения теплопроводности угля, насыщенного СК CO_2 , по трем сверхкритическим изотермам в области давлений до 20 МПа.

Отклонение теплопроводности $\Delta\lambda$ для критической изотермы 304,15 К от обычного поведения теплопроводности составляет 40 %, а для сверхкритической изотермы 323,15 К – 20%. При дальнейшем повышении температуры (вдали от критической изотермы) эффект аномалии постепенно исчезает.

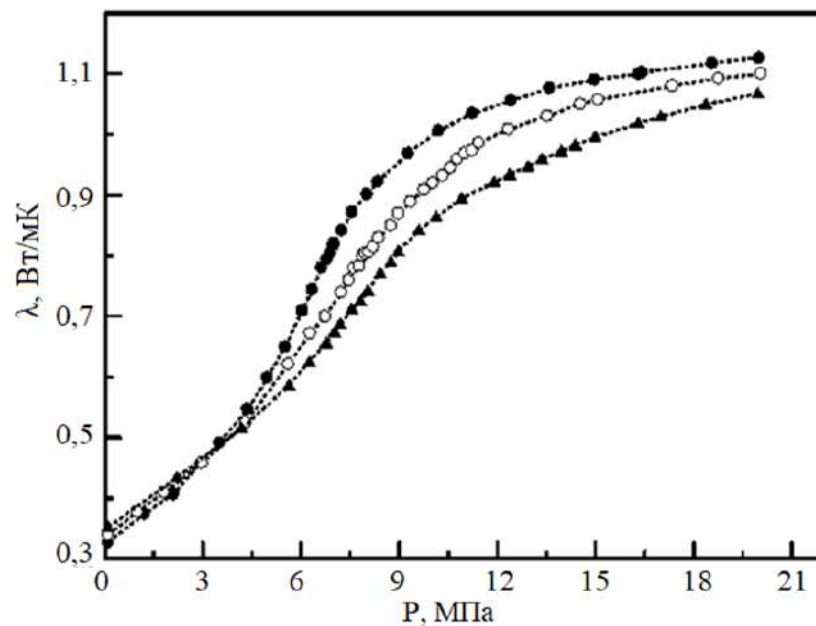


Рис. 2. Теплопроводность угля, насыщенного СК CO_2 , в зависимости от давления вдоль различных сверхкритических изотерм; ● – 304,15 К; ○ – 313,15 К; ▲ – 323,15 К

В полученном эксперименте СК CO_2 , заключенный в порах, не имеет критического роста, а демонстрирует некоторое необычное поведение около критической точки чистого CO_2 без критической аномалии скейлинга типа (рис.2). Это увеличение без сингулярности теплопроводности в образцах угля, насыщенных СК CO_2 , связано с поведением CO_2 в порах, которое хорошо предсказывается теорией конечно-размерного скейлинга [5]. Углекислый газ в микропоре ограничен, и радиус корреляции плотности ξ не может превышать размер пор R ($\xi \approx R$). Это означает, что теплопроводность поровых жидкостей вблизи критической точки жидкость-газ не стремится к бесконечности в соответствии со степенным законом, как в случае чистого СК CO_2 в объеме,

когда $\xi \rightarrow \infty$, а остается конечной, ξ является локальной и не превышает размер пор R .

Согласно данной теории теплопроводность (как и другие свойства) ограниченных жидкостей может быть представлена как

$$\lambda(R, \xi) = \lambda_{\infty}(\xi) g_{\lambda}(\xi / R),$$

где $\lambda_{\infty}(\xi) \sim (T - T_k)^{-\gamma}$ – объемная теплопроводность, которая является сингулярной (бесконечность размера $R \rightarrow \infty$); g_{λ} – универсальная конечная величина масштабирующей функции теплопроводности, которая плавно преобразовывает поведение теплопроводности из объемного ($\xi \ll R, R \rightarrow \infty$) в режим конечного размера ($\xi \gg R$).

Таким образом, поведение теплопроводности флюидов вблизи критической точки в ограниченных пространствах контролируется кроссоверным параметром, а именно отношением длины корреляции плотности, которая является функцией температуры, к радиусу поры $\xi(T)/R$.

Таким образом, термодинамические и транспортные свойства пластовой среды, насыщенной CO_2 , в критических и сверхкритических условиях указывают на необычное поведение, которое радикально изменяет поведение проточных процессов, происходящих в пластовой среде в сверхкритических условиях.

Список литературы

1. White C.M., Smith D.H., Jones K.L. et al. Sequestration of carbon dioxide in coal with enhanced coalbed methane recovery // A Review, Energy & Fuel. 2005. № 19. P. 659-663.
2. Rostami A., Masoudi M., Ghaderi-Ardakani A. et al. Effective thermal conductivity modeling of sandstones: SVM framework analysis // Int. J. of Thermophysics. 2016. № 37. P. 59-74.
3. Pashin J.C., Ward W.E., Winston R.B. et al. Regional Analysis of the Black Creek-Cobb Coalbed-Methane Target Internal, Black Warrior Basin, Alabama // AL Geol. Surv., Bull. 1998. 145. P.127.
4. Bachu S., Simbeck D., Hambimuthu K. Special report on carbon dioxide capture and storage // IPCC–Intergovernmental Panel on Climate Change. 2005
5. Fisher M., Barber M.N. Scaling theory for finite-size effects in the critical region // Phys. Rev. Lett. 1972. № 28. P. 1516-1519.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛИОАЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ (ТЕПЛОЙ) ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Тагоев С.А.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: safavidin.tagoev@yandex.ru

Аннотация: В работе рассматривается анализ существующих гелиоаэродинамических (тепловых) электростанций и описание физической модели для исследования её работы. Целью работы является создания описания физической модели гелиоаэродинамической (тепловой) электростанции.

Ключевые слова: гелиоаэродинамическая (тепловая) электростанция, восходящий поток воздуха, труба, парник.

INSTALLATION FOR THE STUDY OF A HELIOAERODYNAMIC (THERMAL) POWER PLANT

Abstract: The paper considers the analysis of existing solar-aerodynamic (thermal) power plants and the description of a physical model to study its operation. The purpose of the work is to create a description of a physical model of a helioaerodynamic (thermal) power plant.

Keywords: helioaerodynamic (thermal) power plant, ascending air flow, greenhouse.

Гелиоаэродинамическая (тепловая) электростанция (солнечная восходящая башня, Solar updraft tower) — один из самых экологических видов электростанций работающих на солнечной энергии. Воздух нагревается в солнечном коллекторе (теплице) и выходит через высокую башню под действием тяги. Восходящий воздух приводит в движение турбины для производства электроэнергии. Проект солнечной башни впервые был опубликован в 1903 г., первый патент получен в 1929 г., первая экспериментальная установка мощностью 50 кВт построен и испытан в 1982 г. в Испании. В 2010 г. в Китае построена солнечная башня мощностью 200 кВт. Существуют проекты на сотни МВт.

Теория. Принцип действия гелиоаэродинамической (тепловой) электростанции (солнечная восходящая башня, Solar updraft tower) основан на движении естественного потока воздуха, возникающего благодаря перепаду температур воздуха внутри и снаружи башни. Электростанция состоит из 3 основных частей (рис. 1): 1) солнечного коллектора - оранжереи, выполненной

из прозрачного материала; 2) высокой башни в центре солнечного коллектора; 3) ветровые турбогенераторы, расположенные в основании башни.

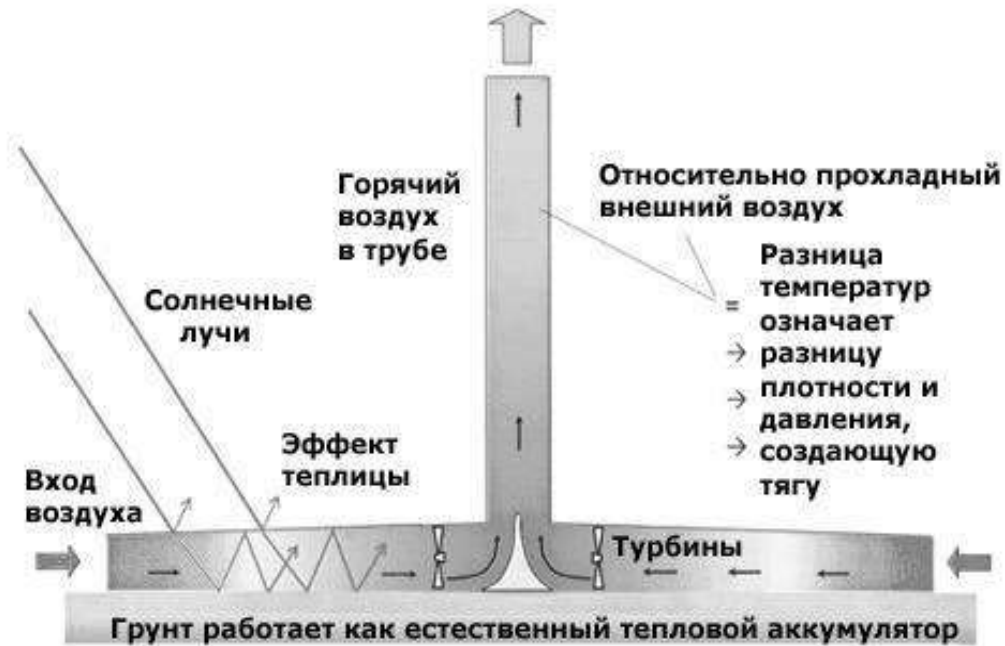


Рис. 1. Принцип работы гелиоаэродинамической (тепловой) электростанции

Вырабатываемая мощность электроэнергии прямо пропорционально площади коллектора и высоте башни. Солнечный коллектор собирает солнечные лучи, превращая в тепловую энергию воздуха, находящийся внутри коллектора. В результате нагрева и расширения плотность воздуха ρ_2 внутри коллектора уменьшается относительно плотности наружного воздуха ρ_1 . Возникающая в результате конвекция вызывает восходящий поток горячего воздуха в башне. Движущей силой процесса является разность давлений на входе p_1 и выходе p_2 башни:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = H_6 \rho_1 g - H_6 \rho_2 g = H_6 (\rho_1 - \rho_2) g = H_6 \Delta \rho g, \text{ Па}, \quad (1)$$

где: H_6 – высота башни, м; $\Delta \rho$ – разность плотностей наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3 ; g – ускорение силы тяжести, $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

Согласно закону Менделеева - Клапейрона, плотность воздуха прямо пропорционально давлению и обратно пропорционально температуре:

$$\rho = pM/RT,$$

где: p – давление, Па; M – молярная масса воздуха, $M=0,029 \text{ кг/моль}$; R – универсальная газовая постоянная, $R=8,314 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$; T – абсолютная температура, К.

Разность плотностей наружного и внутреннего воздуха:

$$\Delta \rho = p_a M / RT_1 - p_a M / RT_2 = M/R (1/T_1 - 1/T_2) p_a = 0,0035 (1/T_1 - 1/T_2) p_a, \quad (2)$$

где: p_a – атмосферное давление, Па.

Поставляя в формулу (1) выражение (2) находим:

$$\Delta p = 0,0035 N_6 (1/T_1 - 1/T_2) p_6 g = 0,0343 N_6 (1/T_1 - 1/T_2) p_6, \text{ Па.} \quad (3)$$

Этот поток воздуха приводит в движение ветряные турбины, размещенные в восходящем потоке дымохода или вокруг основания дымохода, для производства электроэнергии. Кинетическая энергия потока воздуха:

$$E_k = m v^2 / 2,$$

где: m – масса воздуха, кг; v – скорость потока, м/с.

Мощность потока воздуха:

$$N_n = E_k / \tau = m v^2 / 2 \tau = 0,5 G_m v^2 = 0,5 G_v \rho v^2, \text{ Вт,} \quad (4)$$

где: G_m – массовый расход, кг/с; G_v – объемный расход, м³/с.

Объемный расход воздуха через цилиндрический канал:

$$G_v = S v = \pi R^2 v, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (5)$$

где: S – площадь сечения канала, R – радиус цилиндрического канала (башни).

Из (4) и (5) получим:

$$N_n = 0,5 \pi R^2 \rho v^3, = 1,57 R^2 \rho v^3, \text{ Вт,} \quad (6)$$

Таким образом, мощность потока воздуха зависит от радиуса канала и соответственно радиуса турбогенератора, скорости v и плотности ρ воздушного потока.

КПД установки определяется как отношение вырабатываемой мощности N_v к мощности воздушного потока N_n :

$$\eta = 100 N_v / N_n, \%$$

Экспериментальная установка. Экспериментальная установка представляет физический модель гелиоаэродинамической электростанции. Основными частями установки (рис.2) являются башня (труба) 1, определенного радиуса и переменной высоты и турбогенератора 2. В качестве турбогенератора можно использовать вентилятор. Тепло солнечной энергии моделируется с помощью электронагревателя 3 с источником электропитания регулируемой мощности 4 (например, ЛАТР). Вырабатываемая мощность измеряется измерителем мощности 5 (ваттметром или вольтметром и амперметром). Установка снабжается датчиком температуры (термопара или термометр сопротивления) и скорости воздушного потока.

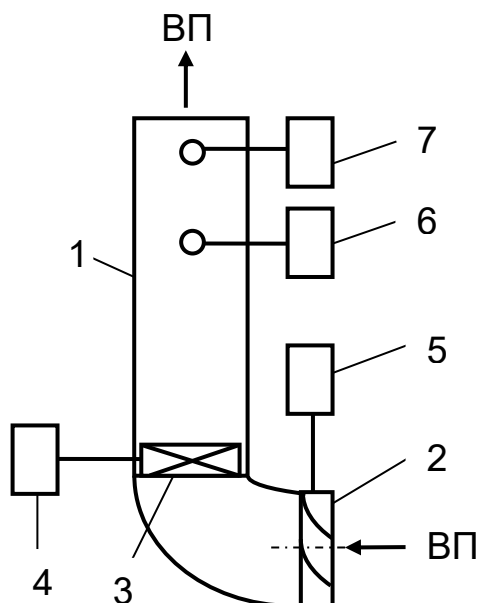


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки: 1 – башня (труба); 2 – турбогенератор (вентилятор); 3- электронагреватель (ТЭН); 4 – источник электропитания регулируемой мощности; 5 – измеритель мощности; 6 – датчик и измеритель температуры; 7 – датчик и измеритель скорости воздушного потока (ВП)

Выводы

Таким образом, собрав данную установку, можно моделировать и исследовать солнечную восходящую башню, на основе которой можно проектировать гелиоаэродинамическую (тепловую) электростанцию с заданными параметрами.

Литература

1. Ч. Синьпин, С. Яньян. Выработка электроэнергии башней с солнечным восходящим потоком. Солнечная энергия, 2016. №128. –С. 95-125.

Сведения об авторе:

Тагоев Сафовидин Асоевич – 1968 г.р., к.т.н., доцент, зав. кафедрой теплотехники и теплоэнергетики ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – теплоэнергетика, теплофизика, инженерная защита окружающей среды.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ

Аминов Дж.Б., Рахимов Б.Н.

ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: Jahon_1004@mail.ru

Аннотация: В работе приводятся результаты опытов направленной кристаллизации в трубчатом контейнере с последующим травлением для получения безблочного слитка.

Ключевые слова: вращающийся контейнер, чистое вещество, направленная кристаллизация.

CRYSTALLIZATION TO OBTAIN PURE SUBSTANCES

Abstract: The paper presents the results of experiments on directional crystallization in a tubular container followed by etching to obtain a block-free ingot.

Key words: rotating container, pure substance, directional crystallization.

Большой интерес для практики очистки металлов представляет осуществление направленной кристаллизации непосредственно в трубке, которая и служит контейнером. Такой процесс обладает рядом особенностей, при вращении под разными углами наклона продольной оси контейнера к горизонту.

Из приведенного определения чистого вещества следует, что измерение свойств можно использовать для оценки чистоты. Предел обнаружения примесей будет зависеть от выбора свойств.

Для металлов весьма чувствительным к содержанию примесей является остаточное сопротивление, которое принято характеризовать отношением удельного сопротивления металла при комнатной температуре (R_{293}) к удельному сопротивлению этого металла при температурах, близких к абсолютному нулю (R_T):

$$\gamma_T = \frac{R_{293}}{R_T}$$

Таким образом, чем чище металл, тем больше величина γ_T . В настоящее время измерение R_T проводят при $T=4,2\text{K}$. Ниже в таблице 1 приведены значения γ_T для некоторых металлов.

При измерении остаточного сопротивления желательно иметь слиток металла в виде монокристалла. Однако в процессе получения последнего может произойти очистка (а может быть, и загрязнение) от некоторых примесей, и, следовательно, измеряемое значение остаточного сопротивления не будет отвечать истинному значению.

В нашей лаборатории изучалась направленная кристаллизация цинка в контейнерах из кварцевого стекла, покрытых пироуглеродом, с внутренним диаметром 15мм. Начальная часть контейнера выполнена в виде конуса с углом в вершине 30° , длина конусообразной части 20мм. Получаемые слитки, за исключением конусообразной части, имели вид прямого кругового цилиндра длиной 12-15см. Угол наклона продольной оси контейнера к горизонту 15° , скорость вращения контейнера 100 об/мин. Направленная кристаллизация осуществлялась в условиях самопроизвольного зарождения, т.е. специальная затравка не вводилась.

На внешней поверхности слитков цинка, как и других металлов, полученных направленной кристаллизацией, имеются границы между монокристаллическими блоками, которые проявляются после обработки поверхности слитка соответствующими травителями. Для цинка нами использовалась «царская водка», травление которой в течение 10-60с отчетливо выявляло границы между блоками. Обозначим через S число блоков на поверхности слитка, полученного кристаллизацией. Выясним, как величина S зависит от условий процесса.

Оказалось, что если взять один и тот же образец цинка и подвергнуть его последовательным операциям направленная кристаллизация – расплавление – направленная кристаллизация – расплавление – направленная кристаллизация и т.д. с выгрузкой слитка из контейнера после направленной кристаллизации для фиксации числа блоков, то наблюдается следующая закономерность.

При последовательных операциях направленная кристаллизация – расплавление число блоков уменьшается, и величина S в конечном итоге становится равной единице, т.е. получается безблочный слиток.

Изложенное показывает, что направленной кристаллизацией при малых скоростях можно повысить величину γ_T от 14000 до 40000. По-видимому, это происходит за счёт очистки от неизоморфных примесей и за счёт радиального распределения. Как указывалось выше, получение монокристалла является гарантией чистоты от механических и неизоморфных примесей. Такая гарантия может быть, обеспечена получением монокристалла при достаточно малой скорости.

Эффект монокристаллизации на цинке проявляется при любых условиях: разные углы наклона продольной оси контейнера к горизонту, наличие или отсутствие вращения. В связи с последним обстоятельством возникает естественный вопрос: необходимо ли для повышения остаточного сопротивления цинка вращение контейнера? Данные рисунка 1 и таблицы 1

показывают, что применение вращения действительно увеличивает значение γ_T образцов цинка.

Таблица 1

Отношение удельных сопротивлений некоторых металлов после направленной кристаллизации

Металл	$\gamma_T = R_{293} / R_T$
Алюминий	27000
Магний	14000
Висмут	700
Кадмий	31200
Теллур	640
Цинк	39000

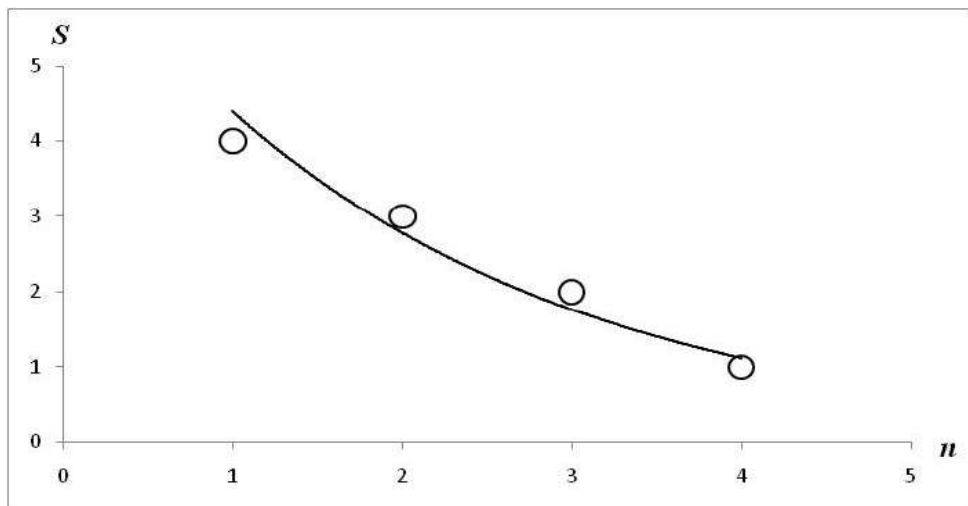


Рис. 1. Зависимость числа блоков s от количества опытов n для цинка

Заключение

Авторами данной работы опытным путем доказано, что применение метода вращающегося контейнера полезно для получения чистого металла.

Литература

1. Управляемая кристаллизация в трубчатом контейнере. Под общ. ред. д. х. н. А. Н. Киргинцева и к. х. н. В. А. Исаенко. Изд. «Наука». Сиб. отд. Новосибирск – 1978. 251 стр.

2. Чернов А.А. Кристаллизация // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. — М.: 1990г. — Т.2. — 704 с.

Сведения об авторах:

Аминов Дж.Б. – к.т.н. старший преподаватель кафедры «ТОР и Э», ТТУ имени академика М.С. Осими.

Рахимов Б.Н. – ассистент кафедры «ТОР и Э», ТТУ имени академика М.С. Осими.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Хужаев П.С., Исмагулозода Дж.И., Холмуратов Т.Р.
Таджикский технический Университет имени академика М.С. Осими,
Душанбе, Таджикистан
e-mail: parviz0774@inbox.ru

Аннотация; В статье рассматривается вопрос расчета эксплуатационных затрат при выработке тепла в котельных. Методы исследования процессов сжигания топлива в топке продукты горения твердого топлива по соединительному стальному патрубку в теле входной камеры, поступают в газораспределительную камеру. Причем излучением от продуктов горения часть выделившегося тепла передается тепло воспринимающей поверхности приемной камеры.

Ключевые слова: сжигание топлива, камера, тепла, газоотводным трубам, коэффициент теплоотдачи, температура, движущегося продукта сгорания топлива.

CHANGING THE TEMPERATURE OF COMBUSTION PRODUCTS IN A SOLID-WASTE WATER-BOILER BOILER SMALL POWER

Annotation; the article considers the calculation of operating costs for heat production in boiler houses. Methods for studying combustion processes in the furnace combustion products of solid fuel through the connecting steel pipe in the body of the inlet chamber enter the gas distribution chamber. And the radiation from the combustion products part of the heat is transferred to the heat of the perceived surface of the receiving chamber.

Key words: combustion of fuel, chamber, heat, gas pipes, heat transfer coefficient, temperature, moving product of combustion of fuel.

Образующие при сжигании топлива в топке продукты горения твердого топлива по соединительному стальному патрубку в теле входной камеры, поступают в газораспределительную камеру. По мере испытания через газораспределительная камера, происходит смешивание горячих продукты горения с воздухом, что приводит это к изменения их температур. В результат этого процесса температура продукты горения достигает максимума значения. Следует отметить, что температура продуктов горения может быть регулируй, в зависимость от стабильность горения.

Причем излучением от продуктов горения часть выделившегося тепла передается тепло воспринимающей поверхности приемной камеры. Далее продукты горения распределяются по газоотводным трубам, где отдают теплоту снижая свое теплосодержание и поступают в сборной камере и через газоход отводятся в дымовую трубу.

В газоотводящих трубах водогрейного котла теплота передается излучением, и конвекцией. В этом случае суммарный тепловой поток определяется

$$q = q_k + q_{\text{л}} = \alpha (t_{\text{г}} - t_{\text{с}}) + \varepsilon c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{г}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{с}}}{100} \right)^4 \right] \quad (1)$$

Если в качестве основного процесса теплообмена в топке и газоотводных трубах принят тепловое излучение, тогда общий тепловой поток

$$q = q_k + q_{\text{л}} = (\varepsilon_k + \varepsilon) c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{г}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{с}}}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

Тогда перенос теплоты конвекцией здесь учитывается увеличением приведенной степени черноты системы

$$\varepsilon_k = \frac{\alpha (t_{\text{ж}} - t_{\text{с}})}{c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{г}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{с}}}{100} \right)^4 \right]} \quad (3)$$

Температура движущегося продукта сгорания топлива сильно отличается от температуры теплоносителя (воды) находящегося в объеме полого цилиндра. Вследствие теплообмена с теплоносителем в барабане, теплоноситель нагревается, а продукты сгорания охлаждаются. Задача заключается в определении количества тепла, поступающего в среду омывающего наружную поверхность газоотводящей трубы.

Получение необходимых зависимостей для соответствующих расчетов возможно в результате решения задачи о закономерностях изменения температуры продуктов горения, движущегося в газоотводной трубе.

Допустим, что в круглой газоотводящей трубе диаметром d в м, движется продукт сгорания топлива с постоянной скоростью ω в м/ч и расходом G в кг/ч.

Температура теплоносителя окружающая газоотводящую трубу постоянна и всюду одинакова: $t_{\text{т}} = \text{const}$. Значение коэффициента теплопередачи от движущегося продукта сгорания топлива к теплоносителю в рабочем объеме барабана также постоянно ($k = \text{const}$) для данной величины скорости.

Допустим также, что поступающий из топочного пространства продукт сгорания имеет в начальном сечении температуру t_0 , постоянную во времени

($t_0 \neq t_T$ и $t_0 > t_T$). Затем под влиянием теплообмена с теплоносителем температура продукта сгорания топлива изменится.

Требуется найти закономерность изменения температуры движущегося в газоотводной трубы газообразного продукта горения, т.е. определить функцию $t(x)$.

В связи с малыми скоростями, количеством тепла, выделяющимся в результате трения продуктов сгорания о стенки газоотводящей трубы.

Для элемента длины газоотводной трубы dx можно составить равенство:

$$k\pi d[t(x) - t_T]dx = Gcdt(x) \quad (4)$$

Левая часть равенства – количество тепла, поступающее из продукта горения к теплоносителю вследствие теплообмена выражается изменением температуры на величину. Правая часть – то же количество тепла, полученное теплоносителем $dt(x)$.

Разделив переменные, получим

$$\frac{dt(x)}{t_T - t(x)} = \frac{k\pi d}{cG} dx \quad (5)$$

Интегрируя в пределах от $x = 0$, когда температура продукта горения поступающего в газоотводящую трубу равна t_0 , до x , когда температура продукта горения топлива $t(x)$, найдем

$$-\ln \frac{t(x) - t_T}{t(x) - t_0} = \frac{k\pi d}{cG} x \quad (6)$$

Отсюда получим искомую зависимость для определения $t(x)$

$$\frac{t(x) - t_T}{t_T - t_0} = e^{-\frac{k\pi d}{cG} x} \quad (7)$$

Последнюю формулу можно представить в ином виде, если выразить расход в соответствии с равенством

$$G = \rho\omega \frac{\pi d^2}{4} \quad (8)$$

Где ρ – плотность перемещаемого продукта сгорания топлива, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Тогда

$$\frac{t(x) - t_T}{t_T - t_0} = \exp\left(\frac{4k}{d\omega c\rho} x\right) \quad (9)$$

Значение коэффициента теплопередачи k для стальной газоотводящей трубы может быть определено по формуле для плоской стенки. Количество

тепла, отдаваемое продуктом сгорания топлива движущимся внутри круглой трубы (на единицу длины), равно

$$Q_{кр} = \frac{t_x - t_0}{\frac{1}{\alpha_1 \pi d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_2}} \quad (10)$$

где d_1, d_2 – соответственно внутренний и наружный диаметры газоотводной трубы, $d_2 = d_1 + 2\delta$;

α_1 – коэффициент теплоотдачи (лучеиспусканием и конвекцией) на внутренней поверхности стенки газоотводной трубы;

α_2 – коэффициент теплоотдачи (конвекцией) на наружной поверхности газоотводной трубы;

δ – толщина стенки газоотводящей трубы;

λ – коэффициент теплопроводности стенки трубы.

Для количества тепла, передаваемого в тех же условиях через плоскую стенку,

$$Q_{пл} = \frac{\pi d_1 (t_x - t_0)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (11)$$

Поскольку толщина стенки δ в стальных трубах мала, а значение коэффициента теплопроводности велико, средний член в знаменателе можно опустить ($\ln \frac{d_2}{d_1} = \ln \frac{d_1 + 2\delta}{d_1}$ близок к нулю).

Поделив (10) на (11) и произведя некоторые преобразования, получим

$$\frac{Q_{кр}}{Q_{пл}} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\ln \frac{d_2}{d_1} \alpha_1 + \alpha_2} \quad (12)$$

Так как $d_2/d_1 \cong 1$, количества тепла, подсчитанные по формулам (10) и (11) оказываются равными ($Q_{кр} = Q_{пл}$) и может приниматься как для плоской стенки.

С учетом весьма малого термического сопротивления стальной стенки формула приобретает вид

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (13)$$

Коэффициент теплоотдачи от продуктов горения топлива к внутренней поверхности трубы может быть определена (конвективная составляющая) по формуле

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (14)$$

Тогда для различных диаметров трубы и скоростей движения продуктов горения величина α_1 принимает следующие значения.

Теплоотдача на наружной поверхности трубы (со стороны теплоносителя), может происходить либо свободной конвекцией, либо вынужденной конвекцией). Коэффициент теплоотдачи конвекцией вычисляется по выражению

$$Nu = 0,135(Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (15)$$

Количество лучистого тепла, передаваемого от продуктов горения топлива к внутренней поверхности газоотводящей трубы (площадь $F_1 = \pi dl$, средняя температура T_T) к внутренней поверхности трубы может быть определено по формуле

$$Q_{2,н} = \varepsilon' c_0 F_2 \left[\left(\frac{T_H}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (16)$$

где $\varepsilon' = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_2}{F_H} \left(\frac{1}{\varepsilon_H} - 1 \right)}$ – приведенная степень черноты системы

поверхности ограждений – поверхность трубы;

c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела ($c_0 = 4,96$).

Следовательно, коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием равен

$$\alpha_{2,л} = \frac{0,9 \cdot 4,96 \left[\left(\frac{T_H}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{(T_H - T_2)} \quad (17)$$

Поглощающей средой являются трех – более атомные газы. Степень черноты газа зависит от толщины слоя газа и его парциального давления, поэтому наиболее распространенным случаем поглощающих газов являются продукты сгорания органических топлив или дымовые газы. Если газообразное тело находится в оболочке, обладающей свойствами серого тела, то часть энергии, излучаемой газом, поглощается этой оболочкой, а часть ее отражается. Отраженная оболочкой энергия частично поглощается газом, а частично вновь попадает на поверхность оболочки. Результирующий тепловой поток при теплообмене излучением между газом и оболочкой определится разностью между лучистым потоком, испускаемым газом на оболочку и частью излучения оболочки, которое поглощается газом:

$$Q_{г.с} = c_0 \varepsilon_{эф.с} \left[\varepsilon_g \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - A_g \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] F_c \quad (18)$$

Здесь $\varepsilon_{эф.с} = 0,5(\varepsilon_c + 1)$ – эффективная степень черноты оболочки в поглощающей среде; ε_c – степень черноты оболочки в диатермичной среде;

$\varepsilon_{\Gamma} = \varepsilon_{CO_2} + \beta \varepsilon_{H_2O}$ – интегральное значение степени черноты газа (определяется при температуре газа T_{Γ}); $A_{\Gamma} = \varepsilon_{CO_2} \left(\frac{\bar{T}_{\Gamma}}{T_c}\right)^{0,65} + \beta \varepsilon_{H_2O}$ – интегральное значение поглощательной способности углекислого газа и водяного пара определяется при температуре оболочки T_c).

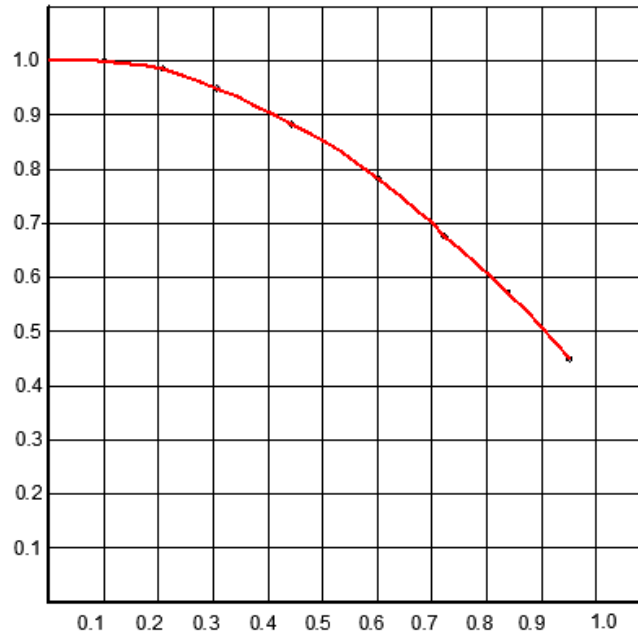


Рис.1. Степень черноты продуктов горения топлива

Таким образом значения степеней черноты углекислого газа ε_{CO_2} и водяного пара ε_{H_2O} , а также параметра β приведены в виде номограмм по экспериментальным зависимостям (рис.1). для расчета средней длины пути луча пользуются приближенной формулой $l = 3,6V/F_c$, где V – объем газового тела, F_c – площадь оболочки.

Таким образом данный метод расчета лучистого теплообмена неприменим к газовым телам, содержащим в продуктах сгорания взвешенные твердые частицы несгоревшего топлива.

Список литературы

1. Хужаев П.С., Назаров С.М. Характеристики углей некоторых месторождений республики Таджикистан // Материалы международной научно-практической конференции «Архитектурное образование и архитектура Таджикистана: 50 лет развития и совершенствования. – Душанбе, 2013. – С.194-199.
2. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод) / под ред. Г.М. Каган. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.

3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел Ф.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981. -416 с.
4. Юдаев Б.Н. Теплопередача М.: Издательство: Высшая школа, 1973, 360 с.
5. Хужаев П.С., Сулейманов А.А. Лучистый теплообмен в топочном пространстве с переменным объемом // Материалы международной научно-практической конференции «Строительства, архитектуры, энергоэффективность и экология». –Тюмень, 2016. –С.
6. Хужаев П.С., Сулейманов А.А. Водогрейный котел малой мощности // Материалы международной научно-практической конференции «Архитектурное образование и архитектура Таджикистана: 50 лет развития и совершенствования». – Душанбе, 2013. –С.231-236.
7. Хужаев П.С., Сулейманов А.А., Поччоев М.М. Твёрдотопливный теплогенератор // Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе, 2014. -№1/1(126). –С.100-104.
8. Хужаев П.С. «Характеристики вертикального жаротрубного котла при сжигании различных видов угля»// Вестник Киргизский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исаева-Бишкек 2014 г.С.90-94.
9. Белкин А.П., Хужаев П.С. Повышение энергоэффективности водогрейного котла малой мощности установкой подвижной колосниковой решетки// Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов- Том II Тюменский индустриальный университет Тюмень- С. 76-81

ОМИЛҲОИ СИФТИ ҲАВОИ ТОЗАИ ҲУЧРАҲОИ ИСТИҚОМАТИ ВА БЕҲТАР НАМУДАНИ ОН

Хуҷаев П.С., Поччоев М.М., Исмадуллозода Ҷ.И., Абдузаниев А. М.
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Шарҳи мухтасари мақола. Дар ин мақола мушкилоти мубрами манзилҳои истиқоматӣ бинобар сабаби набудани ҳавои тоза сухан меравад. Солҳои охир тирезаҳои мустаҳками ҳавоногузари пластикӣ бо баланд бардоштани муқовимати гармӣ истифода мегардад. Дар сохтмон дар бобати истифода бурдани қабати гармимухофиз ва сифати баланди вентилятсияи табиӣ низ мушкилот ба миён меояд. Дар биноҳои истиқоматӣ таъмини вентилятсияи табиӣ мувофиқи меъёрҳои ҷорӣ кардани он дида баромада шудааст.

Калидвожаҳо: табодули ҳаво, вентилятсия, микроқлими дарунӣ, сифати ҳаво, тирезаи душишабандӣ.

FACTORS OF CLEAN AIR QUALITY IN RESIDENTIAL PREMISES AND ITS IMPROVEMENT.

Annotation. A brief overview of the article. This article discusses the pressing problems of residential buildings due to lack of fresh air. In recent years, durable sealed plastic windows with increased heat resistance have been used. In construction, there are also problems with the use of a heat-protective layer and high-quality natural ventilation. Provision of natural ventilation in accordance with the norms of its introduction is considered in residential premises.

Keywords: air exchange, ventilation, indoor microclimate, air quality, shower window.

ФАКТОРЫ КАЧЕСТВА ЧИСТОГО ВОЗДУХА ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЕГО УЛУЧШЕНИЯ.

Анотатсия: В этой статье обсуждаются насущные проблемы жилых домов из-за нехватки свежего воздуха. В последние годы стали использоваться прочные герметичные пластиковые окна с повышением термостойкости. В строительстве также возникают проблемы с использованием теплозащитного слоя и высокого качества естественной вентиляции. В жилых помещениях рассматривается обеспечение естественной вентиляции в соответствии с нормами ее введения.

Ключевые слова: воздухообмен, вентиляция, микроклимат в помещении, качество воздуха, душевое окно.

Таъмини сифати ҳаво дар бинои истиқоматӣ яке аз масъалаҳои муҳими сохтмони муосир мебошад. Барои ҳалли мушкилот дуруст асоснок кардани интихоби қобилияти мубодилаи ҳаво барои системаҳои вентилятсия зарур аст. Пештар вентилятсияи биноҳо истиқоматӣ вазифаи муҳити тадқиқот набуд. Аз ин лиҳоз чунин мешумориданд, ки мубодилаи зарурии ҳаво тавассути тиреза ва дарҳо аз ҳисоби воридшавии ҳаво ба иншооти пӯшида таъмин карда мешавад. Аммо тайи ду даҳсолаи охир сифати масолеҳи сохтмони истифодашаванда тағйир ёфта, тарҳи биноҳо сарфакоронатар шуда, таваччуҳи аҳоли ба сифати муҳити зисти онҳо низ афзудааст.



Рас. 1. Таъмини ҳавои тоза ва тоза намудани таркиби микробиологии ҳаво

Имрӯз дар шароити якбора баланд шудани ҳифзи ҳарорати биноҳои сохташаванда, баланд бардоштани маҳкамии қовиши тирезаҳо дар онҳо, ташкили мубодилаи оптималии ҳаво, таъмини шароити санитарии гигиенӣ, таъмини микроклими бароҳат дар биноҳои истиқоматӣ риояи талаботи сарфай энергия пеш омадааст. Аз ин лиҳоз, меъёрҳои ватанӣ, аз ҷумла меъёрҳои санитарии гигиенӣ на танҳо аз меъёрҳои хориҷӣ хеле фарқ мекунанд, балки муддати тӯлонӣ аз нав дида баромада нашудаанд [2, 3,4].

Мавод ва усул.

Таҳлили ҳуччатҳои меъёри ватанӣ ва хориҷӣ, ки таъмини сифати ҳаво дар биноҳои истиқоматиро танзим мекунад, гузаронида шуд. Дар асоси тадқиқоти ҳуди мо баҳодиҳии параметрҳои микроклим дар манзичотҳои истиқоматӣ пас аз таъмири сифати аврупоӣ ва насби тирезаҳо ва дарҳои мустаҳками ҳозиразамон (пластики) дода шудааст. Ҳарорат, намӣ ва суръати ҳаво дар биноҳои истиқоматӣ бо истифода аз системаҳои тасдиқшуда чен карда шуданд.

Натиҷаҳо ва муҳокимаҳо.

Нишондиҳандаҳои асосии бароҳатии термикии биноҳо таркиб, тозагии ҳаво (сифати ҳаво) ва равандҳои микроклимӣ буда, ки аз ҷониби системаҳои гармидиҳӣ, вентилятсия ва муътадлсозии ҳаво таъмин карда мешаванд.

Сифати ҳавои дарунӣ аз бисёр омилҳо – яъне аз сифати ҳавои беруна, мавҷудияти манбаъҳои ифлоскуанда дар ҳучра, ҷойгиршавии ин манбаъҳои ифлос кунанда, ташкили системаҳои мубодилаи ҳаво, муътадлсозии ҳаво, ва дигаромилҳо вобаста аст[5]. Ҳавои ҳучра набояд дорои моддаҳои ифлоскуанда дар консентратсияи барои саломатии инсон хатарнок ё боиси нороҳатӣ бошад.

Ба чунин ифлосшавӣ моддаҳои кимиёвӣ дар шакли газҳо, буғҳо, микроорганизмҳо, дуди тамоку ва аэрозолҳо, ки метавонанд аз манбаъҳои дарунӣ ифлоскуандаҳо, аз ҷумла партовҳои хурока, равандҳои технологӣ, мебел, қолинҳо, масолеҳи сохтмонӣ ва ороиши ба ҳучраҳо бо ҳавои беруна воридшаванда дохил мешаванд.

Бо ёрии вентилятсия (мубодилаи доимии ҳаво) дар биноҳои истиқоматӣ намии муътадили ҳаво нигоҳ дошта мешавад, гази карбон, бӯйи нохуши масолеҳи сохтмон, ошхона, дуд ва ғайра бартараф карда мешавад.

Дар чунин ҳолатҳо мубодилаи ҳаво дар ҳучраҳо зарур аст, ки тавонад ҳавои ғализи дохили ҳучраҳоро ихроҷ намояд. Дар биноҳои истиқомати одатан системаҳои дохилии ҳучравӣ (худҷорӣ) қабул мегардад: ҳавои хориҷшуда бевосита аз минтақаи ифлосшавии максималии он – ошхонаҳо ва иншооти санитарӣ бо воситаи системаи вентилятсияи табиӣ ба атмосфера партофта мешавад.

Ивазкунии ҳаво дар дохили ҳучраҳо бинобар сабаби кушодани дару тирезаҳои бино ба амал меояд. Яъне системаи вентилятсияи табиӣ дар ин ҳолатҳо фаъол шуда метавонад.

Дар ҳучраҳо ҳамчун як ҳаҷми ҳаво бо ҳамон фишор ҳисобида мешавад. Тахмин карда мешавад, ки дарҳои дохилӣ, чун қоида кушодаанд, ки муқовимати аэродинамикии онҳоро дар ҳолати пӯшидан коҳиш медиҳад. Истифодаи вентилятсияи табиӣ дар биноҳои истиқоматӣ ва оммавӣ бо арзиши пасти он, инчунин дар амал набудани зарурати нигоҳдории он вобаста аст. Дар

робита ба истифодаи оммавии тирезаҳои мустаҳками ҳавоногузари муосир (пластики) дорои ду-се қабат шишабандӣ дар биноҳои истиқоматӣ мушкilotи мушаххасе ба миён омаданд, ки солҳои пеш хеле кам буданд.

Кам кардани ҷараёни ҳавои тоза тавассути тирезаҳои муосир баланд шудани нами дар фазои ҳуҷраҳои истиқоматӣ, ки кори системаи вентилятсияи ихроҷи табииро маҳдуд мегардонад.

Масалан: Оилаи аз се нафар иборатбуда дар як шабонарӯз ба фазои ҳуҷра (аз ҳисоби нафаскашӣ, душ, шустан, пӯхтан, об додани гул ва ғайра) 10-15 литр об ҷудо мекунад. Ҳангоми хориҷ кардани об ба фазои ҳуҷра ба баланд шудани намии ҳаво, сирояти деворҳо бо занбурӯғ, конденсатсия дар тирезаҳо, эҳсоси нороҳатии пурқувват ва намӣ имконпазир аст. Дар сурати воридшавии нокифояи ҳавои тоза, баланд шавии чанг, намнокӣ ё хушкӣ вобаста ба мавсим ба амал меояд [6-10].

Ба гуфтаи муалифон, ки ба омӯзиши ҳавои тозаи ҳуҷраҳо, вақте дар хонаҳои истиқоматӣ тирезаҳо ва дарҳои даромадгоҳҳои замонавии мустаҳками ҳавоногузар истифода шуда, шикоятҳои зиёд дар бораи баланд шудани намнокии ҳаво, бӯи ғализ ворид шудан аз дигар ошёнаҳо ба воситаи каналҳои вентилятсионӣ (ҳатто бӯи ошёнаҳои поёни ба ошёнаҳои болои ворид мешаванд) ба қайд гирифта шудааст. Санадҳои сифати ҳаво, ки имрӯз амал мекунанд: корхонаҳои муштаракӣ соҳавӣ, ҳуҷҷатҳои назорати давлатии санитарии эпидемиологӣ дорои маълумоти пурра буда баъзан муҳолифанд.



Рас. 2. Омилҳои паст шудани сифати ҳавое, ки мо нафас мекашем, сифати ҳаво - ҳалли тоза кардани ҳаво аз аллергенҳо.

Санатҳои “Биноҳои истиқоматӣ ва чамъиятӣ. Қурби мубодилаи ҳаво” ду усули ҳисоб кардани қурби ҳадди ақалли мубодилаи ҳаворо пешниҳод мекунад, ки барои таъмини ҳавои сифати қобили қабул дар ҳучра кифоя аст:

-усуле, ки ба қурби мушаххаси мубодилаи ҳаво асос ёфтааст ва аналоги дохилии он ҳисобкунии суръати ҷараёни ҳавои интиқолшаванда аз рӯйи миқдори муқарраршуда ва ҷараёни хоси муқарраршуда мебошад;

-усуле, ки ба ҳисобкунии концентратсияи иҷозатдодаи моддаҳои ифлоскунанда асос ёфтааст ва аналоги дохилии он ҳисобкунии ҷараёни ҳавои воридотӣ аз рӯйи массаи моддаҳои зараровар ё тарканд мебошад.

Санатҳо ба шумо имкон медиҳад, ки талаботро нисбат ба сифати ҳавои берунии барои вентилятсия истифодашаванда ва санатҳои ҳадди ақалли он, ки сифати ҳавои дохилро таъмин мекунад, бо назардошти чунин омилҳо, ба монанди партовҳои одамон дар ҳучра (биорезаҳо, бўйҳо), басомади истифодаи ҳучра, ҳаҷми он ва ғайра муқаррар намоед. Озмоишҳои саҳроӣ (хона дар шаҳраки Гипрозем, ш. Душанбе) дар ду бинои истиқоматӣ (баъди таъмири сифати аврупоӣ ва насби тирезаҳо ва дарҳои мустаҳками ҳавоногузар): меҳмонхона ва хонаи хоби як манзил, дар ошонаи боло, дар мавсими гарм ва сард, се маротиба гузаронида шудааст.

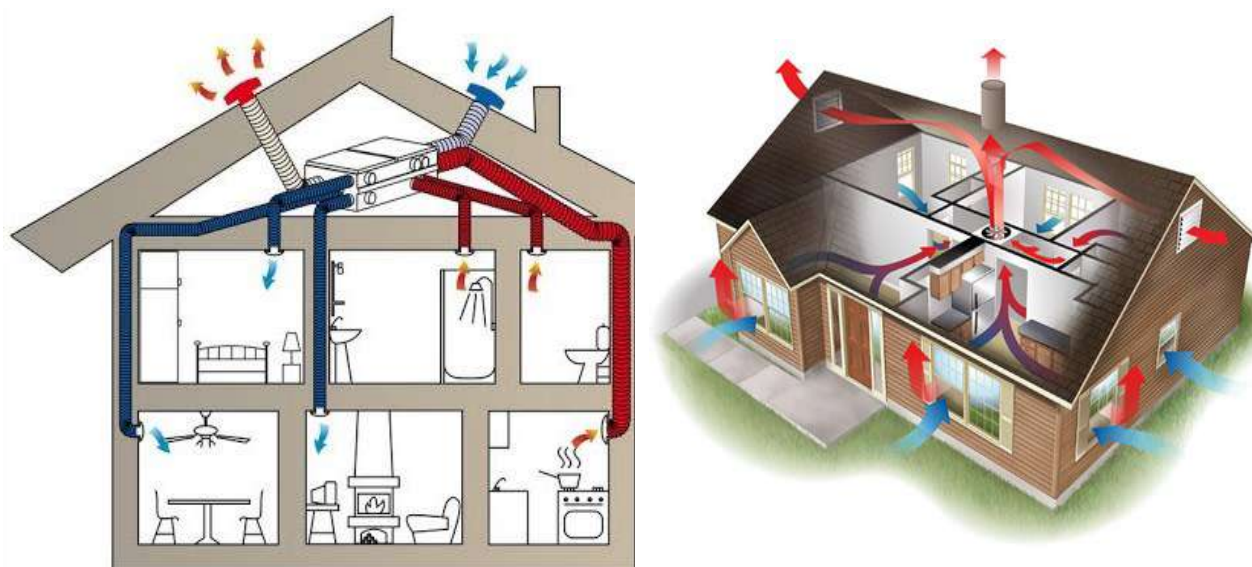
Ҷадвали 1 арзишҳои воқеии ченшударо нишон медиҳад. Вентилятсияи ҳучраҳо табиӣ аст, гармидиҳӣ хомӯш аст. Дар натиҷаи тадқиқот маълум гардид, ки дар ин биноҳои истиқоматӣ ҳарорат ва намии нисбии ҳаво аз меъёрҳои муқаррарнамудаи меъёрҳои амалкунанда зиёд будааст.

Системаи механикии таъминот ва вентилятсияи ихроҷӣ, чун қоида, дар идораҳо, бонкҳо, биноҳои чамъиятӣ истифода мешавад. Бо сабабҳои иқтисодӣ, дар сохтмони оммавии манзил дар тамоми ҷаҳон системаи вентилятсияи табиӣ истифода мешавад. Системаи вентилятсияи табиӣ дар манзилҳои истиқоматӣ фақат дар ошона ва ҳаммому ҳоҷатхона насб карда шудааст. Тамоми биноҳои истиқоматӣ бо чунин раванд лоихакашӣ шудааст.

Ҷадвали 1.

Ҷойҳои ченкунӣ	Баландӣ аз фарш, м	Ҳарорат, °C	Нисбати намнокӣ, %	Суръати ҳаракати ҳаво, м/с
1. Ҳучраи истиқоматӣ — дар маркази ҳучра	0,1	24,7 - 24,9	65-66	< 0,1
	0,6	24,9 -25,0	66-67	< 0,1
	1,7	25,0 -25,2	66-67	< 0,1
— дар масофаи 0,5 м аз девори беруни	0,1	24,8 - 25,0	66-67	< 0,1
	0,6	24,9 -25,1	65-66	< 0,1

	1,7	25,1 -25,3	65-66	< 0,1
2. Хонаи хоб	0,1	24,4 - 24,7	67-68	< 0,1
— дар маркази хучра	0,6	24,5 - 24,8	66-67	< 0,1
	1,7	24,6 - 25,0	67-68	< 0,1
— дар масофаи 0,5 м аз девори берунӣ	0,1	24,3 - 24,6	67-69	< 0,1
	0,6	24,4 - 24,7	68-69	< 0,1
	1,7	24,7 - 24,9	68-69	< 0,1
СанПиН2.1.2.2645-10, арзишҳои оптималии арзишҳои иҷозатдодашуда	-	20,0-22,0 18,0-24,0	30-45 ≤ 60	≤ 0,15 ≤ 0,2*



Рас. 3. Системаи вентилятсияи табиӣ ва механики дар манзилҳои истиқоматӣ

Ҳангоми насб кардани тирезаҳои мустаҳками ҳавоногузар бо тирезаҳои ду қабат шишабандӣ аз сабаби набудани фосила дар онҳо, мувозинати байни воридшавии ҳаво ва ихроҷ вайрон мешавад ва тамоми системаи вентилятсияи табиӣ амалан кор намекунад. Барои соҳибони хонаҳое, ки тирезаҳои мустаҳками ҳавоногузар аз пластика, чӯб ё алюминий сохта шудаанд, соддатарин ва дастрастарин насб кардани дастгоҳҳои махсуси муҳофизаткунандаи садо – сарпушҳои вентилятсионӣ – бевосита ба чаҳорчӯбаи хама гуна тиреза дар қисми болоии он ё ба панелҳои деворӣ шуда метавонанд.



Рас. 5. Сарпушҳои вентилятсионӣ дар тирезаҳои мустаҳками ҳавоногузар насб шуда.

Дар фасли сармо бо пӯшидани тирезаҳо, бе баланд шудани садо дар хона, нами ва гипотермияи ҳучраҳо чараёни зарурии ҳавои тоза таъмин карда мешавад. Ҳангоми истифодаи дастгоҳҳои ихроҷкунандаи автоматӣ дар утоқҳои коммуналӣ (ошхона, ҳаммом) дар якҷоягӣ бо сарпушҳои таъминоти самаранокии сарфайи энергия бештар шуда метавонад [11,12].

Барои назорат кардани равандҳои муҳимтарини биноҳои истиқоматӣ санадҳо таҳия карда шудаанд, ки ҳар як бинои истиқоматӣ бояд ба онҳо мувофиқат кунад. Ҳарорати манзил яке аз хусусиятҳои асосӣ буда, бароҳати зистро дар он муайян мекунад. Ҳарорате, ки худуди бароҳатро ҳамагӣ 1-2 дараҷа тарк мекунад, мондан дар ҳучраро ноговор мегаронад ва ҳангоми ба таври назаррас вайрон кардани речаи муқаррарии ҳарорат, зиндагӣ дар ҳучра комилан ғайриимкон мегардад.

Ғайр аз сифати системаи гармидиҳӣ ҳучра, сифат ва навъи тирезаҳои дар он гузошташуда, инчунин системаи вентилятсия ба таъмини речаи ҳарорати дохили манзил мусоидат мекунад. Аз ин рӯ, тарҳрезии салоҳиятноки системаи вентилятсия вазифаи бениҳоят муҳим мегардад, зеро дар оянда иваз кардани он як амалиёти бениҳоят гарон ва на ҳамеша имконпазир аст.

Мутаассифона, технологияи муосир, ки дар ороиши биноҳои истиқоматӣ истифода мешаванд, чун қоида, вентилятсияи табиӣ онҳоро вайрон мекунад [13].

Ҳамин тариқ, маводи синтетикӣ, ки барои ороиши дохилӣ истифода мешавад, танҳо дар сурате беҳатар аст, ки меъёрҳои муқарраршудаи вентилятсия риоя карда шавад ва ҳар соат иваз кардани тамоми ҳавои ҳучраро талаб мекунад. Агар ин шарт вайрон карда шавад, моддаҳои кимиёвӣ аз онҳо баровардашуда метавонанд ба консентратсияи хатарнок расида, муҳити дохилии ҳучраро ифлос кунанд. Ҳамаи ин омилҳо системаи вентилятсиониро

дар шароити муосир аҳамияти ниҳоят калон дода, зарурати насби системаҳои вентилятсияи маҷбуриро дар биноҳои истиқоматӣ ба миён меорад, ки гардиши зарурии ҳаворо бо истифода аз навъҳои гуногуни асбобҳои механикӣ таъмин менамояд [14,15].

Хулоса.

1. Мушкилоти ҳавои тоза ҳангоми таъмини микроклими муқарраршуда бештар маъмул аст. Дар сурати мавҷуд будани системаи гармидиҳии баландсифат бидуни системаи самараноки ҳавотозакунӣ ба шароити беҳтарини зиндагӣ дар ҳучраҳо ноил шудан ғайриимкон аст.

2. Гузоштани иншооти дару тирезаи мустаҳками ҳавоногузар мубодилаи ҷавои табириро дар биноҳои истиқоматӣ ҳалалдор намуда, боиси дар ҳаво ҷамъ шудани намъ, ва моддаҳои кимиёвӣ аз масолеҳи ороишии замонавӣ баровардашуда мегардад.

3. Аз сабаби душвории кори вентилятсияи табиӣ зарурати мучаҳҳаз сохтани биноҳои истиқоматӣ бо системаҳои вентилятсияи маҷбури ба миён меояд, ки гардиши зарурии ҳаворо бо истифода аз намудҳои гуногуни асбобҳои механикӣ таъмин мекунанд.

4. Ҳангоми насб кардани сарпушҳои таъминкунанда дар биноҳои истиқоматӣ бароҳати микроклимиро таъмин карда, мавҷуд набудани нами, садо, чораҳои сарфаи энергия мушоҳида карда мешавад.

5. Пешниҳод карда мешавад, ки фасли «Вентиляция ва муътадилсозии ҳаво»-и СанПин 2.1.2.2645-10 «Талаботи санитарии эпидемиологӣ ба шароити зист дар биноҳо ва биноҳои истиқоматӣ» бо баъзе нуқтаҳои ҳуччатҳои меъёрии муҳандисии СП, МҚС ва ғайра, инчунин қадвали маълумотнома «Равандҳои таҳминии ҳаво ва қурби мубодилаи ҳаво дар биноҳои истиқоматӣ» мувофиқ карда шавад.

Адабиёти истифодашуда

1. Ефимов М.Н. Воздухораспределение в помещениях жилых и общественных зданий. М.: АВОК №2 2014.

2. Максимова А.Ю., Саенко И.А. Анализ и пути решения проблем системы воздухообмена жилых помещений. Международный технико-экономический журнал. 2015.

3. Хужаев П.С., Сулейманов З.А., Сулейманова Н.А., Поччоев М. М./ Воздуховод равномерной раздачи постоянного статического давления. Вестник Таджикского технического университета, 151-154

4. Хужаев П. С., Ибрагимов А. З., Тагойбеков Ш. С., Воздуховод равномерной раздачи воздуха. Актуальные вопросы науки и практики XXI в., 27-32

5. Бодров М.В., Кузин В.Ю. Анализ режимов работы систем естественной вентиляции многоквартирных жилых домов в теплый период года. Приволжский научный журнал. №4. 2016.

6. Хужаев П. С., Назаров Р.С., Алимардонов А.Б., Султонмамадов Х П., Повышение энергоэффективности зданий при условии утилизации тепла вытяжного воздуха Бюллетень науки и практики, 57-63 Россия.2017

7. Волов Г.Я. Устойчивость работы систем естественной вентиляции многоквартирных жилых зданий. М.: АВОК. №1. 2014.

8. Вентиляция с возможностью поддержания заданных параметров качества воздуха в жилых помещениях. М.: АВОК №1 2018.

9. Табунщиков Ю.А. Микроклимат и энергосбережение: пора менять приоритеты. М.: АВОК. №5.2008.

Маълумот дар бораи муаллифон

Хужаев Парвиз Сайдуфронвич- Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ дотсенти кафедраи “Системаҳои таъмини об газугарми ва ҳавотозакунӣ”. Суроға: 734042, Ҷумҳурии Тоҷикистон, шаҳри Душанбе, кӯчаи академик Раҷабовҳо, 10. Телефон: (+992) 985100333. E-mail: rkhujaev@gmail.com

Почоев Мирзоқурбон Мирзобурҳонович - Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ н.и.т., муаллими калони кафедраи “Системаҳои таъмини об газугарми ва ҳавотозакунӣ”.

Исматуллозода Ҷамшед Исматулло- Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ унвонҷӯи кафедраи “Системаҳои таъмини об газугарми ва ҳавотозакунӣ”.

Абдуғаниев Абдулмаҷд Маҳмадсодиқович - Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ муаллими калони кафедраи “Масолеҳ, технология ва ташкили сохтмон”

ОСОБЕННОСТИ УЛУЧШЕНИЮ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЯХ

¹Хужаев П.С., ¹Хасанов Н.М., ¹Исматуллозода Дж.И., ²Сулейманова Н.А.

¹Таджикский технический университет имени акад. М.С.Осими

²Горно-металлургический институт Таджикистана

Аннотация: В данной статье приведены основные результаты исследования по улучшению работы систем вентиляции в подземных транспортных коммуникациях. Улучшение работы систем вентиляции может значительно создает условия жизни и безопасности людей, а также уменьшить негативное воздействия на окружающую среду. Авторы статьи предлагают несколько направлений для улучшения работы систем вентиляции: использование возобновляемых источников энергии; систем рекуперации тепла и интеллектуальных систем вентиляции на основе датчиков и алгоритмов для анализа и регулирования качества воздуха. Данные рекомендации могут быть полезны для создания более совершенных систем вентиляции в подземных помещениях в различных странах.

Ключевые слова: системы вентиляции, подземные транспортные коммуникации, энергосбережение, возобновляемые источники энергии, рекуперация тепла, интеллектуальные системы вентиляции, качество воздуха, окружающая среда, технологии и материалы, кризисные ситуации, безопасность людей.

FEATURES OF IMPROVING THE OPERATION OF THE VENTILATION SYSTEM IN UNDERGROUND COMMUNICATION STRUCTURES

Abstract: This scientific article presents the main results of a study on improving the performance of ventilation systems in underground transport communications. Research is a hot topic, since improving the performance of ventilation systems can significantly improve living conditions and safety of people, as well as reduce negative impacts on the environment. The authors of the article propose several directions for improving the performance of ventilation systems, such as the use of renewable energy sources, heat recovery systems and intelligent ventilation systems based on sensors and algorithms for analyzing and regulating air quality. These recommendations may be useful for creating better underground ventilation systems in various parts of the world. The article also suggests possible directions for future research in this area, such as the development of new technologies and materials, the study

Keywords: *ventilation systems, underground transport communications, energy saving, renewable energy sources, heat recovery, intelligent ventilation systems, air quality, human safety, environment, technologies and materials, crisis situations.*

Подземные сооружения, такие как тоннели, подземные парковки, метро и другие инженерные коммуникации, имеют свои особенности, которые требуют специального подхода к проектированию и монтажу систем вентиляции. Необходимость обеспечения безопасных и комфортных условий пребывания внутри подземных сооружений ставит перед проектировщиками и монтажниками сложные задачи, связанные с необходимостью борьбы с загрязнением воздуха, теплопередачей и другими проблемами, присущими работе в тех условиях.

Вентиляция в подземных транспортных коммуникационных сооружениях имеет свои особенности. Здесь воздухообмен происходит быстрее, чем в других подземных помещениях, так как движущиеся транспортные средства и находящиеся в них люди выделяют больше тепла и углекислого газа. Кроме того, подземные транспортные коммуникации часто имеют небольшие размеры и сложную геометрию, что усложняет проектирование и установку систем вентиляции.

Для вентиляции подземных транспортных коммуникаций используются как принудительные, так и естественные системы. В принудительной вентиляции чаще всего используются вентиляторы, располагаемые в проходах и на перегонных станциях. Такие системы обеспечивают мощный поток свежего воздуха и быстро удаляют загрязненный воздух. Также можно использовать системы кондиционирования воздуха для поддержания определенной температуры в туннелях[1-4].

Естественная вентиляция в подземных транспортных коммуникациях возможна благодаря наличию шахт, вентиляционных колодцев и перепусков воздуха. Эти элементы помогают создавать естественные потоки воздуха и обеспечивать его обновление внутри туннелей.

Важной особенностью вентиляции в подземных транспортных коммуникациях является ее гибкость и возможность быстрой реакции на изменение условий. Например, при возникновении аварийной ситуации, связанной с выходом из строя транспорта или оборудования, система вентиляции должна быстро перераспределить поток воздуха и обеспечить безопасные условия для работы персонала и пассажиров.

Еще одной важной задачей вентиляции в подземных транспортных коммуникациях является снижение уровня шума. Особенно это важно для

метрополитена, где поезда передвигаются на большой скорости и создают сильный шум. Поэтому в системах вентиляции в транспортных коммуникациях используются специальные звукоизоляционные материалы и акустические демпферы, которые позволяют снизить уровень шума на перронах и в проходах.

Также необходимо проводить регулярное техническое обслуживание и контроль за работой системы вентиляции [1-4].

Обзор научной литературы. Обзор существующих технологий работы систем вентиляции в подземных транспортных коммуникациях: В области исследования систем вентиляции в подземных транспортных коммуникациях есть значительное количество работ отечественных ученых. Одной из ключевых задач в этом направлении является повышение энергоэффективности работающих систем вентиляции, улучшение качества воздуха в тоннелях и коридорах метрополитена, а также улучшение условий жизнедеятельности людей в них.

Зарубежные и отечественные ученые активно занимаются проблемой вентиляции в подземных транспортных коммуникациях, существующих в течение многих десятилетий.

В Таджикистан и за рубежом проводились множество исследований, направленных на изучение особенностей вентиляции в подземных сооружениях и на разработку новых технологий и систем вентиляции:

1. Исследования, проводимые Таджикском техническом университете имени академика М.С.Осими. Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими на кафедрах «Основания, фундаменты и подземные сооружения» и «Системы водоснабжение, теплогазоснабжение и вентиляции» активно занимается изучением проблем вентиляции в подземных сооружениях Рогунской ГЭС.

2. Исследования, проведенные МГТУ им. Н.Э. Баумана. В МГТУ им. Н.Э. Баумана проводились исследования по проблемам вентиляции в подземных сооружениях, в частности, в метрополитене. В рамках этих исследований были разработаны новые методы, позволяющие оптимизировать работу систем вентиляции и обеспечить более эффективный воздухообмен в метрополитенах различных городов.

3. Исследования, проведенные Институтом проблем безопасности РАН. В Институте проблем безопасности РАН активно изучаются проблемы вентиляции и безопасности в подземных сооружениях. В рамках этих исследований разрабатываются новые технологии и системы для обеспечения оптимальных условий работы в подземных строительных объектах.

4. Исследования, проведенные Институтом теоретической и прикладной механики СО РАН. В Институте теоретической и прикладной механики СО РАН активно изучаются проблемы обеспечения безопасности и оптимизации вентиляции в подземных транспортных коммуникациях. В рамках этих исследований разрабатываются компьютерные модели, позволяющие смоделировать работу систем вентиляции и предложить рациональные решения для их улучшения.

5. Исследования, проводимые Московским государственным университетом путей сообщения. Московский государственный университет путей сообщения активно занимается изучением проблем вентиляции в транспортных коммуникациях разного типа. В рамках этих исследований разрабатываются новые методики расчета параметров систем вентиляции и обеспечения необходимого уровня воздухообмена.

Анализ проблем и недостатков существующих систем вентиляции: Существующие системы вентиляции в подземных транспортных коммуникациях имеют несколько проблем и недостатков, которые могут привести к неблагоприятным последствиям для людей и окружающей среды. Ряд научных исследований проводилась для выявления проблем и недостатков существующих систем вентиляции в подземных транспортных коммуникациях и для поиска путей их улучшения[5-11].

Одной из главных проблем является недостаточная мощность систем вентиляции в период часов пик. При большом количестве людей на станции метро или в поездах метрополитена уровень углекислого газа и других вредных веществ в воздухе значительно повышается. Это может привести к ряду серьезных заболеваний, таких как бронхиальная астма и аллергические реакции. Кроме того, недостаточная мощность систем вентиляции может повысить вероятность паники и беспорядков в крупных метрополитенах.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что современные технологии вентиляции и кондиционирования воздуха обеспечивают более эффективный и экономичный способ управления качеством воздуха в зданиях и других помещениях. Ряд научных исследований проводился для обзора и оценки современных технологий вентиляции и кондиционирования воздуха и их применения в различных областях.

Одной из наиболее перспективных технологий является интеллектуальный контроль воздушного потока. Изучение этой технологии показало, что она позволяет оптимизировать расход энергии и обеспечить максимально эффективное управление системой вентиляции и кондиционирования воздуха.

Более того, интеллектуальный контроль воздушного потока может помочь снизить расход энергии и увеличить долговечность оборудования.

Также существуют новые методы очистки воздуха, такие как использование фотокаталитических фильтров и аппаратов с ультрафиолетовым излучением. Эти технологии помогают эффективно удалять загрязнители из воздуха и предотвращают развитие бактерий и инфекций в зданиях.

Новыми методами кондиционирования воздуха являются системы, которые используют возобновляемые источники энергии, такие как геотермальная энергия и солнечная энергия для нагрева и охлаждения воздуха. Эти системы способствуют повышению энергетической эффективности и снижению расходов на энергию[3-5].

Современные технологии также могут помочь улучшить безопасность и уменьшить риски кризисных ситуаций. Одним из примеров является система контроля качества воздуха, которая может обнаружить наличие вредных веществ в воздухе и автоматически запустить систему вентиляции и кондиционирования воздуха для очистки воздуха.

В целом, современные технологии вентиляции и кондиционирования воздуха позволяют достичь более эффективного и экономичного контроля качества воздуха в зданиях и помогают повысить безопасность и комфорт внутренней среды.

Актуальность темы. Актуальность темы проектирования и монтажа систем вентиляции в подземных сооружениях обусловлена увеличивающимся числом таких сооружений, которые применяются в различных отраслях промышленности и гражданского строительства. К ним относятся тоннели, метро, подземные парковки, склады, технические подвалы, а также другие системы подземных коммуникаций. Особые подходы к проектированию и монтажу систем вентиляции в подземных сооружениях связаны с необходимостью обеспечения безопасности работников, а также обеспечения комфортных условий пребывания людей в этих сооружениях.

Эти системы вентиляции должны обеспечивать свежий воздух, отводить загрязненный воздух и сбрасывать тепло, которое выделяется различными производственными процессами. Также необходимо учитывать условия работы всей техники, которая функционирует в подземных сооружениях, чтобы исключить ее перегрев и выход из строя. Проектирование и монтаж эффективных систем вентиляции в подземных сооружениях должны учитывать ряд особенностей. Эти особенности жестко связаны с условиями работы в подземных сооружениях, такими как ограниченное пространство, наличие изгибов и перегородок, высокая температура и влажность, а также с наличием

загрязняющих веществ. В результате, знания и умения в области проектирования и монтажа систем вентиляции в подземных сооружениях имеют большое значение для создания безопасных, экологически чистых и комфортных условий пребывания в этих сооружениях.

Подземные сооружения, такие как тоннели, подземные парковки, метро и другие инженерные коммуникации, требуют особенного подхода к проектированию и монтажу систем вентиляции. В этих условиях воздух может быть загрязнен опасными химическими веществами, токсичными газами и пылью, а также иметь повышенную температуру и влажность.

В этом направлении необходимо:

- использование сенсоров для контроля качества воздуха в реальном времени. Это позволяет автоматически регулировать работу системы вентиляции и поддерживать оптимальные уровни качества воздуха.

- применение системы эффективной рекуперации тепла. Эта технология позволяет переиспользовать тепло, выделяемое воздухом при вытяжке, для подогрева свежего воздуха.

- использование мобильных, автономных систем вентиляции, работающих на беспроводных сенсорах. Такие системы предназначены для экстремальных ситуаций, когда требуется быстро реагировать на изменения качества воздуха или поддерживать оптимальную температуру. - Интеграция системы управления освещением в систему вентиляции. Это позволяет улучшить качество освещения в подземных помещениях, а также обеспечить эффективную работу системы вентиляции.

- применение технологии "умной сети", в которой системы вентиляции и другие системы, включая системы безопасности и управления энергопотреблением, могут работать в единой управляемой сети.

- использование системы беспроводной передачи данных для удаленного мониторинга и управления системой вентиляции. Такая система позволяет следить за состоянием системы, регулировать ее работу и уведомлять о возможных проблемах.

- применение ультрафиолетовых систем фильтрации воздуха. Эта технология позволяет уничтожать бактерии и вирусы в воздухе, которые могут быть опасны для здоровья людей.

Рекомендации по улучшению работы систем вентиляции в подземных транспортных коммуникациях включают:

1. Использование возобновляемых источников энергии для питания систем вентиляции, таких как солнечная и ветряная энергия, может быть эффективным

способом снижения затрат на энергию и уменьшения негативного влияния на окружающую среду.

2. Оборудование систем вентиляции с системами рекуперации тепла может быть полезным для сокращения затрат на обогрев свежего воздуха и снижения нагрузки на электросеть.

3. Использование интеллектуальных систем вентиляции, основанных на датчиках и алгоритмах для анализа и регулирования качества воздуха и его параметров, может быть эффективным способом обеспечения высокого уровня комфортности и безопасности людей в подземных транспортных коммуникациях.

Таким образом, вентиляция в подземных транспортных коммуникациях является актуальной проблемой, привлекающей внимание ученых всего мира, в том числе республики Таджикистан. Большое количество научных работ и публикаций по этой теме позволяют разрабатывать новые решения и технологии для обеспечения безопасности в подземных сооружениях и улучшения качества жизни людей. Дальнейшие исследования в этой области могут помочь разработчикам и инженерам создавать еще более эффективные и комфортабельные системы вентиляции в подземных помещениях [8.9.11].

Выводы

Исследования по улучшению работы систем вентиляции в подземных транспортных коммуникациях являются актуальной темой для совершенствования условий жизнедеятельности людей в таких объектах, а также для уменьшения негативного влияния на окружающую среду.

Основные результаты исследований показывают, что использование возобновляемых источников энергии в системах вентиляции, таких как солнечная и ветряная энергия, позволяет снизить затраты на энергию, уменьшить риски выхода системы вентиляции из строя, а также уменьшить негативное влияние на окружающую среду. Использование системы рекуперации тепла также позволяет снизить расход энергии на обогрев свежего воздуха и снизить нагрузку на электросеть.

Интеллектуальные системы вентиляции с использованием датчиков и алгоритмов для анализа и регулирования качества воздуха и его параметров также представляются как эффективное решение для обеспечения высокого уровня комфортности и безопасности людей в подземных транспортных коммуникациях.

Литература

1. Барский А.С. Вентиляция при строительстве гидротехнических туннелей. М., 1972, 42 с. (Информэнерго).
2. Волков В.П., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н. Тоннели и метрополитены. М., «Транспорт», 1964, 626 с.
3. Гришаев В.И. Вентиляция тоннелей на железных дорогах. М., Трансжелдориздат, 1961, 121 с.
4. Компаниец С.А., Поправко А.К. Богородецкий А.А. Проектирование тоннелей. М., «Транспорт», 1973, 317 с.
5. Маковский В.Л., Межнев И.И., Демешко Е.А. Исследование некоторых вопросов герметической щитовой проходки тоннелей в неустойчивой водоносной среде под большим гидростатическим давлением. М., 1958, 64 с. (Всесоюз. науч.-исслед. ин-т транспортного строительства, сообщение № 134.)
6. Технический отчет Рогунской ГЭС. -Москва. 1978г.
7. Рогунской ГЭС на реке Вахш. Подземный комплекс. Технический проект (гидропроект). Гидроспецпроект. -М.1980 г.
8. Лоихаи техникии Нерӯгоҳи Обии Роғун дар дарёи Вахш. Тошкент. соли 1978.
9. Ҳамроҳкунии корҳои муҳандиси-геологӣ дар рафти корҳои сохтмонӣ иншооти НБО Роғун дар соли 2010. –Москва. соли 2011.
10. Хужаев П.С. Аэрология конспект лекции.- Душанбе 2015178 с.
11. Хужаев П.С., Сулейманов З.А., Сулейманова Н.А., Поччоев М.М. Воздуховод равномерной раздачи постоянного статического давления.- Вестник Таджикского технического университета. –Душанбе, 2015. -№4(32). – С.151 -156

Сведение об авторах:

Хужаев П. С. - к.т.н., доцента кафедры «Системы водоснабжения, теплогазоснабжения и вентиляции» Таджикского технического университета им. М.С. Осими.

Хасанов Н. М. – д.т.н., и.о. проф кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» Таджикского технического университета им. М.С. Осими.

Исматуллозода Дж. И. – докторант кафедры “«Системы водоснабжения, теплогазоснабжения и вентиляции» Таджикского технического университета им. М.С. Осими.

Сулеманов Н.А. - к.т.н., доцент «Горно-металлургический институт Таджикистана»

ТАҒЙИРЁБИИ НУФУЗПАЗИРИИ ДИЭЛЕКТРИКИИ МАҲЛУЛИ ОБИИ ГИДРАЗИН ВОБАСТА АЗ КОНСЕНТРАТСИЯ ВА ҲАРОРАТ

*Сафаров М. М., **Хусайнов З.К.

*Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ,

**Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав, ш. Бохтар.

Шарҳи мухтасар. Дар мақолаи мазкур натиҷаҳои таҷрибавӣ ва назариявии нуфузпазирии диэлектрикии маҳлулҳои оби гидразин вобаста ба ҳарорат ва консентратсияи он оварда шудааст. Дар асоси қонуни мувофиқовариҳои ҳолат муодилаи эмпирики ҳосил карда шудааст.

Вожакалимаҳо. Нуфузпазири диэлектрики, об, гидразин, ҳарорат, консентратсия

Нуфузпазирии диэлектрикӣ яке аз ҳосиятҳои асосии диэлектрикҳо буда, якҷанд усулҳои ченкунии он маълум мебошад. Натиҷаҳо бо методи дар асоси тағйир додани ғунҷоиши электрикӣ ё дар асоси муқовимати ғаболи конденсатори ҳавоии ҳамвор, баъди ҷойгир намудани диэлектрики тадқиқшаванда дар ҳолигӣ (байни лавҳаҳои конденсатор), ба даст оварда шудаанд. Нуфузпазирии диэлектрикӣ бузургии физикие мебошад, ки тағйирёбии қувваи таъсири байниҳамдигарии ду зардҳои электрикиро дар муҳит бар нисбати чунин қувваи таъсири байниҳамдигарии зарядҳоро дар вакуум тавсиф медиҳад. Нуфузпазирии диэлектрикии гидразин ва об аз ҳамдигар фарқ менамоянд.

Дар мақола нуфузпазирии диэлектрикии маҳлули оби гидразин дар ҳолати муътадил ва ҳангоми тағйирёбии ҳарорат санҷида шуд. Бо ин мақсад нуфузпазирии диэлектрикии маҳлули оби гидразин дар 9 ҳолат, ки ҳар кадомашон дорои консентратсияи гуногуни гидразин ва об мебошанд, дар ҳароратҳои аз 293 то 323К тадқиқ карда шудааст.

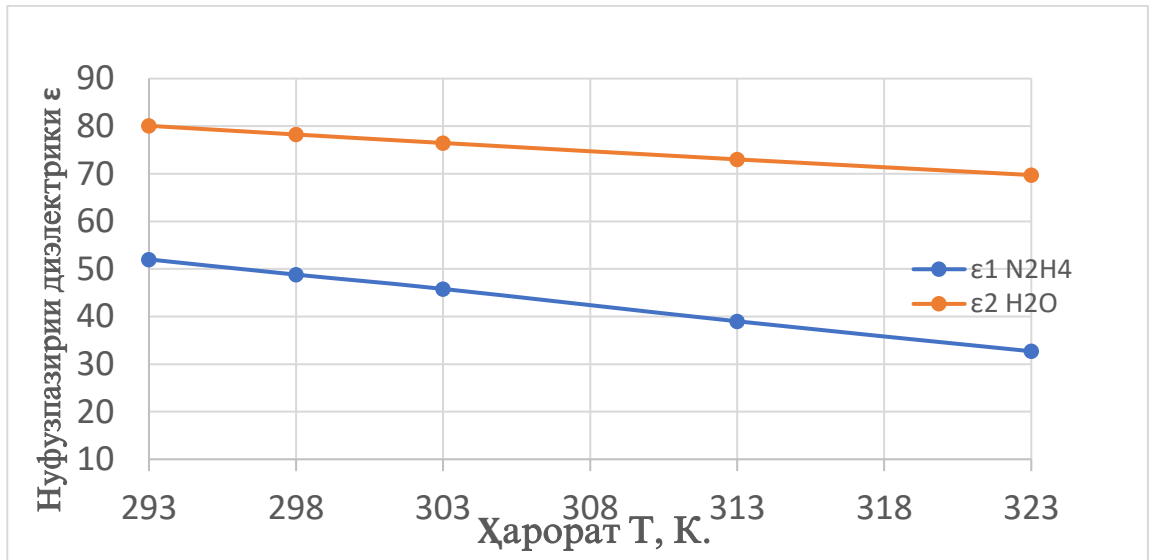
Натиҷаи таҷриба нишон доданд, ки ҳангоми баланд шудани ҳарорат нуфузпазирии диэлектрикии маҳлул кам мешавад. Дар ҳолати нормалӣ натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки ҳангоми афзоиш ёфтани консентратсияи об дар маҳлул, нуфузпазирии диэлектрикӣ меафзояд.

Натиҷаи таҷрибаҳо дар ҷадвали 3.1 ва графики 3.1. оварда шудаанд.

Ҷадвали 1.- Тағйирёбии нуфузпазирии диэлектрикии гидразин ва об

T, K	ϵ_1 гидразин	ϵ_2 об
293	52,0	80,08
298	48,8	78,25

303	45,8	76,47
313	39,0	73,02
323	32,7	69,73



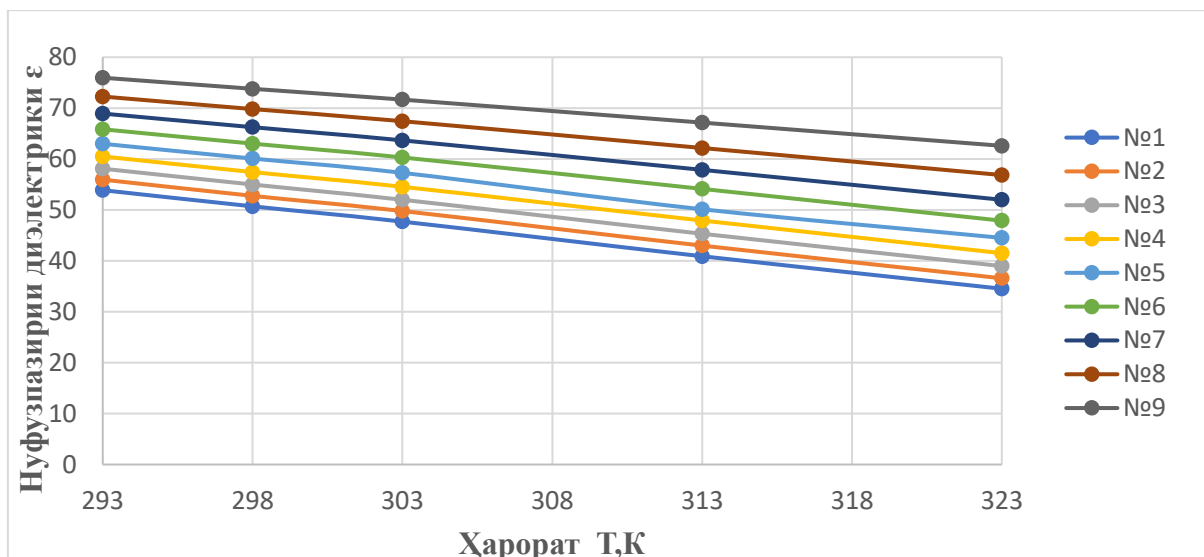
Рас. 1. Вобастагии нуфузпазирии диэлектрикии гидразин ва об аз харорат

Мақсади тадқиқ намудани нуфузпазирии диэлектрикии маҳлули оби гидразин дар ҳолати муътадил буд. Бо ин мақсад мо дар 9 намуна концентратсияҳои гуногун, нуфузпазирии диэлектрикии маҳлулҳои оби гидразинро тадқиқ намудем. Концентратсияи гуногуни гидразин ва обро дар ҳарорати аз 293К то 393К дар бар мегирад. Қисмҳои асосии намунаҳо (электролитҳо) дар зер оварда шудаанд (Ҷадвали 2)

Ҷадвали 2.- Нуфузпазирии диэлектрикии маҳлулҳои оби электро-литҳои система (гидразин ва об) дар ҳароратҳои гуногун

Т, К	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
293	53,89	55,96	58,11	60,52	63,00	65,85	68,94	72,28	75,98
298	50,71	52,77	55,00	57,44	60,10	63,03	66,26	69,82	73,80
303	47,71	49,79	52,00	54,55	57,29	60,32	63,67	67,44	71,68
313	40,91	43,00	45,33	47,93	50,14	54,14	57,88	62,17	67,16
323	34,53	36,58	38,98	41,52	44,52	47,90	52,00	56,86	62,60

Эзоҳ: Ишораҳо дар зер расми 2 оварда шудааст



Рас. 2. Вобастагии байни нуфузпазирии диэлектрикии система (гидразин ва об) аз ҳарорат дар фишори атмосферӣ: Намунаи №1(0,9 N₂H₄+0,1 H₂O); Намунаи №2(0,8 N₂H₄ + 0,2 H₂O); Намунаи №3((0,7N₂H₄+ 0,3H₂O); Намунаи №4(0,6N₂H₄ + 0,4H₂O); Намунаи №5 (0,5 N₂H₄ + 0,5H₂O); Намунаи №6(0,4N₂H₄ + 0,6H₂O); Намунаи №7(0,3 N₂H₄ + 0,7H₂O); Намунаи №8(0,2N₂H₄+ 0,8H₂O); Намунаи №9(0,1 N₂H₄ + 0,9 H₂O).

Нуфузпазирии диэлектрикии маҳлулҳои омӯхташуда бо ифодаи зерин санҷида мешаванд мешаванд [1,3,4]:

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{n_1}{\varepsilon_1} + \frac{n_2}{\varepsilon_2} \quad (1)$$

дар дар ин ҷо: n₁ - консентратсияи гидразин, ε₁ - нуфузпазирии диэлектрикии гидразин, n₂ - консентратсияи об, ε₂ - нуфузпазирии диэлектрикии об. Натиҷаҳои ҳисобкунии ададӣ дар ҷадвали 2 оварда шудаанд.

Натиҷаҳои ҷенкунӣ нишон доданд, ки дар ҳарорати доимӣ бо зиёд шудани консентратсияи об дар маҳлулҳо нуфузпазирии диэлектрикӣ низ зиёд мешавад. Вобастагии нуфузпазирии диэлектрикӣ аз консентратсияи маҳлулҳои обии гидразин дар ҷадвали 3 нишон дода шудааст [4-7].

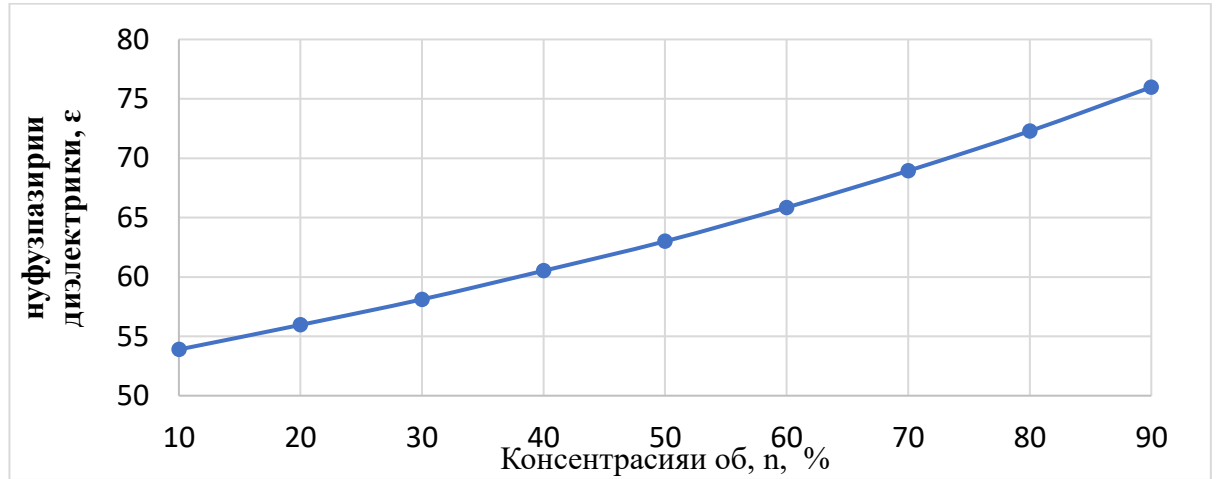
Ҷадвали 3. - Тағйирёбии нуфузпазирии диэлектрикии маҳлулҳои обӣ оид ба консентратсияи компоненти дуюм, яъне. об дар ҳарорати хона (T=293K)

№	n, H ₂ O %	ε ₂
1	10	53,89
2	20	55,96
3	30	58,11
4	40	60,52
5	50	63,00
6	60	65,85
7	70	68,94

8	80	72,28
9	90	75,98

Эзоҳ: Ишораҳо дар зери расми 2 оварда шудааст.

Аз қиматҳои дар ҷадвали 3 буда чунин график сохтан мумкин аст.

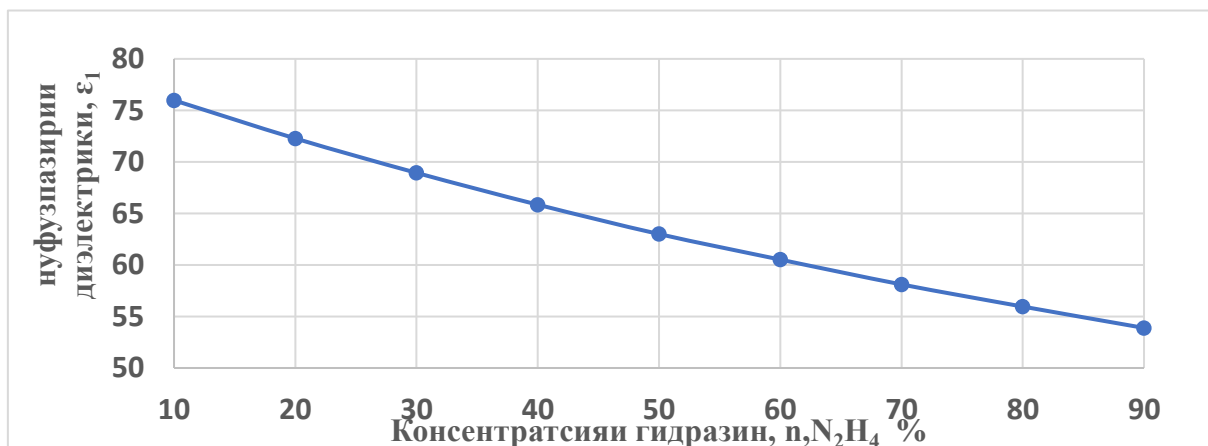


Рас. 3. Вобастагии тағйирёбии нуфузпазирии диэлектрики маҳлул-ҳои оби гидразин аз консентратсияи компоненти дуюм, дар ҳарорати хона ($T=293K$) (нигаред ба расми 2)

Чунон ки аз ҷадвали 3 ва расми 3 дида мешавад, бо зиёд шудани консентратсияи об нуфузпазирии диэлектрики маҳлулҳои оби гидразин меафзояд. Ин раванд бо афзоиши консентратсияи гидразин баръакс рафтор мекунад, ки дар ҷадвали 4 ва графики 4 оварда шудааст.

Ҷадвали 4.- Тағйирёбии нуфузпазирии диэлектрики маҳлулҳои оби гидразин аз консентратсияи компоненти якум, яъне гидразин дар ҳарорати хона ($T=293K$)

№	n, N ₂ H ₄ %	ε ₁
1	10	75,98
2	20	72,28
3	30	68,94
4	40	65,85
5	50	63,00
6	60	60,52
7	70	58,11
8	80	55,96
9	90	53,89



Расми 4. Вобастагии тағйирёбии нуфузпазирии диэлектрики махлул-ҳои оби гидразин аз консентратсияи компоненти якум, яъне гидразин дар ҳарорати хона ($T=293\text{K}$)

Хулоса

Барои чамъбасти натиҷаҳои таҷрибавӣ ва адабии нуфузпазирии диэлектрикии махлулҳои гидразин ва системаи об дар консентратсияи гуногун (N_2H_4 ва H_2O) дар $T=293\text{K}$ ва фишори атмосферӣ ($0,101\text{MPa}$), мо усули монандии термодинамикӣ ва қонуни мувофиқровари ҳолатро дар консентратсияҳои гуногун истифода намудем.

Адабиёт

1. Зеленин, К. Н. Химия, Гидразин: военно-медицинская академия, Санкт-Петербург. 1998- 60с.
2. Сафаров, М.М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина при различных температурах и давлениях, дисс.... д-ра техн.наук / М.М. Сафаров.- Душанбе, 1993.956с (в двух томах)
3. Белинский, Л.Г. Гидратация в растворах электролитов / Л.Г. Белинский, Б.А. Белинский // Изв. ТСХА. 1988.-Вып.2.-С.174-179.
4. Введенский, А.А. Термодинамические функции гидразина и его метилпроизводных / А.А. Введенский, Т.Н. Масамиженова.// Органическая химия . – 1966. -40. №6. – С. 1372-1377.

Маълумоҳои дар бораи муаллиф.

Сафаров Махмадали Махмадиевич- доктори илмҳои техники, профессор, профессори кафедраи Техникаи гармо ва теплоэнергетика. ДТТ ба номи акад. М.С.Осим, Тел 93.163 155 85. Почтаи электрони, mahmad1@list.ru

Хусайнов Зувайдullo Курбоналиевич- муаллими калони кафедраи Физикаи умумии ДДБ ба номи Носири Хурав. Тел. 98 555 82 62, Почтаи электрони, zuvaidullo@mail.ru

СОЗДАНИЕ ФОРСУНОК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ SLM-ПЕЧАТИ

Черепанов Р. В.

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет
им. А.Н. Туполева «КНИТУ КАИ им. А.Н. Туполева» г. Казань

Руководитель: Футин В.А.- доктор технических наук, доцент кафедры
теплотехники и энергетического машиностроения

e-mail: cherepanovfly8@gmail.com

Аннотация: В данной статье рассмотрено применение аддитивной технологии для изготовления форсунки камеры сгорания газотурбинного двигателя. В качестве такой технологии рассмотрена SLM-печать. Данная технология позволяет изготовить деталь высокой точности и надёжности и значительно экономит время изготовления и материал.

Ключевые слова: Аддитивные технологии, форсунка, металлический порошок, SLM-печать, лазеры.

CONSTRUCTION COMBUSTION NOZZLES SLM PRINTING FOR GAS TURBINE ENGINES

Abstract: This paper considers the application of additive technology for manufacturing of combustion nozzle of gas turbine engine. SLM-printing is considered as such technology. This technology allows manufacturing a part of high accuracy and reliability and will significantly save manufacturing time and material.

Key words: Additive technologies, nozzle, metal powder, SLM printing, lasers.

Камера сгорания имеет очень высокую важность при работе газотурбинного двигателя. Её главная задача состоит в преобразовании химической энергии топлива в тепловую энергию, а также в подводе этой энергии к рабочему телу двигателя. Такой процесс происходит при сгорании топлива, предварительно смешанного с кислородом, который содержится в воздухе.

Топливная форсунка является составной частью камеры сгорания газотурбинных двигателей, а также частью устройства подготовки топливовоздушной смеси перед её сжиганием в камере сгорания.

Важнейшими задачами при разработке топливной форсунки ГТД являются:

- Одинаковая подача топлива по всей области камеры сгорания;

- Обеспечение высокой производительности и эффективности сгорания топлива;
- Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу за счёт эффективного сгорания топлива;
- Обеспечение стабильной работы при всех режимах работы двигателя, включая низкие и высокие частоты вращения турбины;
- Уменьшение образования отложений на поверхности форсунки и камеры сгорания двигателя;
- Обеспечение надёжности и долговечности форсунки при эксплуатации двигателя.

SLM (Selective laser melting, 3D-печать металлом) – это метод аддитивного производства элементов различной степени сложности, использующий лазеры высокой мощности [1 С.5].

Благодаря технологии селективного лазерного плавления усовершенствовался метод производства топливной форсунки – одной из самых сложных деталей газотурбинного двигателя. Ранее такой процесс заключался в сваривании множества элементов в единой целое, что было очень трудоёмким.

Создание форсунки камеры сгорания с помощью SLM-печати проходит в три основных этапа: подготовка к печати, основной процесс и постобработка.

Этап 1. Подготовка к печати. Данный этап начинается с проектирования трёхмерной математической CAD-модели в специализированной САПР программе. Такая программа позволяет спроектировать как отдельные детали, которые станут частью узлов и установок, так и цельные неразборные конструкции. Далее происходит конвертирование модели в STL-файл и перенос этого файла в программное обеспечение принтера MAGICS. Далее программа постпроцессор SLM Building Processor на основе заданных значений создаёт такие параметры процесса, как векторы экспонирования, скорость экспонирования, мощность лазерного излучения и расстояние между линиями штриховки. Подобранные параметры определяют толщину слоёв компонента, точность выполнения поверхности и механические свойства. После процесса «нарезки» компонента на отдельные, параллельные платформе построения слои, выполняется генерация данных слоёв. Толщина каждого такого слоя (обычно 30-50 мкм) сильно влияет на характеристики качества компонента, а именно на продолжительность построения, точность и качество поверхности. В тот же момент с подготовкой данных идёт и подготовка 3D принтера(Рис. 1).



Рис. 1. 3D принтер

Перед основным процессом в рабочей зоне принтера необходимо создать инертную среду. Создание инертной среды сводит к минимизации окисления металлического порошка, из которого будет напечатана деталь, а также обеспечивает взрывобезопасность процесса. В закрытую камеру подают защитный инертный газ (азот, аргон) до полного удаления кислорода. Такой этап необходим для пирофорных металлов, которые самовоспламеняются при контакте с кислородом. Например, для металлических порошков, сделанных из титана и алюминия.

Этап 2. Основной процесс. Он характеризуется циклическими операциями, включающими в себя:

Операция 1. Нанесение слоя материала.

Производится нагрев камеры и начинается построение модели. В печатной камере принтера равномерно распределяется слой порошка по бункеру построения с помощью ракеля. Ракель разравнивает порошок до заданной толщины, в среднем от 20 до 60 мкм.

Операция 2. Селективное лазерное плавление.

Процесс плавления происходит следующим образом: сканирующее зеркало направляет лазер на металлический порошок. Частицы порошка сплавляются друг с другом вдоль контуров и на тех участках поверхности, которые были заданы на предварительном этапе. Лазер плавит частицы порошка в определённых участках в соответствии с сформированным G-кодом.

Операция 3. Опускание платформы на уровень заданной толщины.

После спекания слоя платформа опускается вглубь на толщину нанесённого слоя, формируя новый слой для печати.

Эта последовательность повторяется, соединяя геометрию текущего слоя с геометрией предыдущего слоя до тех пор, пока деталь не будет готова.

Этап 3. Постобработка. Данный этап необходим для удаления остатков порошка с поверхности готового изделия.

После окончания печати платформа с готовым изделием выдвигается из принтера. С помощью гидро-вакуумного сепаратора убирается лишний порошок с платформы печати, что даёт материалу использоваться вторично. Заготовка с рабочей поверхности убирается вручную и далее деталь проходит обработку. Обработка может быть различной, один из видов является электроимпульсная обработка – вид электроэрозионной обработки, основанный на использовании импульсов дугового разряда для разрушения слоя металла. Также могут использоваться фрезерные станки, позволяющие получить сверхточные размеры.

Характеристики материала для 3D-печати

В качестве материала для SLM-печати используют металлический сферический порошок мелкой фракции высокого качества и обладающий нужными параметрами (Рис. 2). Материал должен иметь узкое распределение частиц по размерам со средним значением от 15 до 50 мкм. В качестве сплавов для таких порошков используют:

- алюминиевые (AlSi7Mg0,6);
- никелевые (IN625);
- титановые (Ti6Al4V ELI марки 23) сплавы [2 С.28].



Рис. 2. Требуемые характеристики порошкового материала

Вспомогательные поддержки и размещение деталей

В 3D печати применяют поддержки (Рис. 3), которые служат дополнительной опорой для конструкции, основанием для построения сложной геометрии первого слоя детали и являясь антидеформирующей жесткой конструкцией.

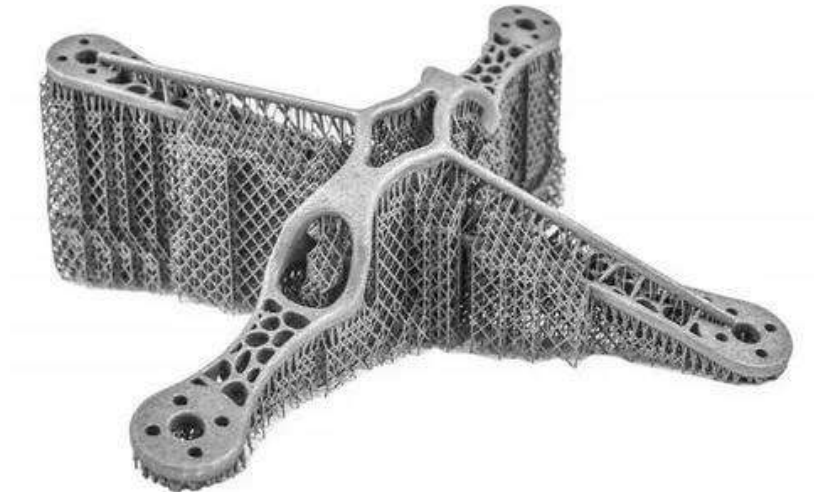


Рис. 3. Поддержки деталей

Назначение поддержек:

- служат основанием для построения первого слоя детали и более легкого ее отделения от платформы;
- равномерно закрепляют все элементы изделия на рабочей платформе, являясь антидеформирующей жесткой конструкцией.

Заключение

Технология 3D-печати металлом позволяет значительно экономить время и материалы, создавать точные высокодетализированные изделия и расширять производственные возможности, позволяет улучшать механические и физические свойства детали ввиду широкого выбора материала изготовления, даёт свободу в проектировании и производстве инженеру.

Список литературы

1. М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Муртылина. Аддитивные технологии в машиностроении // Издательство политехнического университета. – 2013. – С. 221;
2. Безобразов Ю.А. Анализ структуры образцов, полученных DMLS- и SLM-методами быстрого прототипирования // СПбГПУ. 2013. – С.156.

ТЕПЛО-МАССООБМЕН ПРИ СУШКЕ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩЕГО ПОЛИМЕРА В АППАРАТЕ ФОНТАНИРУЮЩЕГО СЛОЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ВВОДОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Шаисламов А.Ш., Жураев Р.Р.

Ташкенский государственный технический университет,

г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: shaislamov55@mail.ru

***Аннотация:** В данной статье представлена новая конструкция аппарата фонтанирующего слоя с дополнительными вводами теплоносителя в малоинтенсивную зону. Представлены экспериментальные данные, подтверждающие существенную интенсификацию тепло-массообмена в аппарате за счет эффективной подачи теплоносителя в пассивные зоны слоя.*

***Ключевые слова:** тепло - и массообмен, температура мокрого термометра, аппарат фонтанирующего слоя, теплоноситель, кинетика сушки.*

HEAT AND MASS TRANSFER DURING DRYING OF FIBER-FORMING POLYMER IN A GAUNTING LAYER DEVICE WITH ADDITIONAL INPUT OF COOLANT

***Annotation:** This article presents a new design of a spouting layer apparatus with additional coolant inputs into a low-intensity zone. Experimental data are presented that confirm a significant intensification of heat and mass transfer in the apparatus due to the effective supply of coolant to the passive zones of the layer.*

***Key words:** heat and mass transfer, wet bulb temperature, spouting layer apparatus, coolant, drying kinetics.*

Сушка является одним из основных и энергоемких процессов в технологии получения волокнообразующего полимера диацетатцеллюлозы, из которого в дальнейшем получают диацетатную нить. В настоящее время для сушки диацетатцеллюлозы применяются барабанные сушилки, представляющие собой полый цилиндр, снабженный теплообменными трубками, через которые пропускается пар. Процесс сушки происходит кондуктивным способом. Коэффициент заполнения этих сушилок мал. Это влечет за собой большие потери тепла и снижает коэффициент использования тепла. Процесс сушки в этих сушилках мало интенсивен. Исходя из этого, возникла необходимость изыскания путей более экономичного процесса сушки диацетатцеллюлозы. Поэтому авторами проведен комплексный анализ

диацетатцеллюлозы как объекта сушки с целью дальнейшего совершенствования процесса.

Установлена целесообразность конвективной сушки диацетатцеллюлозы в аппарате фонтанирующего слоя. Однако аппараты этого типа имеют пониженную тепловую нагрузку, обусловленную ограничением скорости подачи сушильного агента в связи с возрастанием уноса частиц. Для предотвращения указанного недостатка, а также для дополнительной интенсификации тепло - и массообмена авторами было предложено использовать в аппарате фонтанирующего слоя дополнительные боковые вводы сушильного агента, расположенные хордально по отношению к конической части аппарата, направленные в малоинтенсивный слой высушиваемого материала.

Для исследования влияния боковых вводов на тепло - и массообмен была создана конструкция аппарата фонтанирующего слоя с дополнительными вводами сушильного агента. Проведены экспериментальные исследования процесса сушки диацетатцеллюлозы в вышеуказанном аппарате и в типовом аппарате фонтанирующего слоя без дополнительных вводов. Результаты экспериментальных кривых кинетики сушки показали, что, время сушки в аппарате с дополнительными вводами сокращается в 1,5...2 раза по сравнению со временем сушки в аппарате фонтанирующего слоя без дополнительных вводов при одинаковом общем расходе сушильного агента (рис.1).

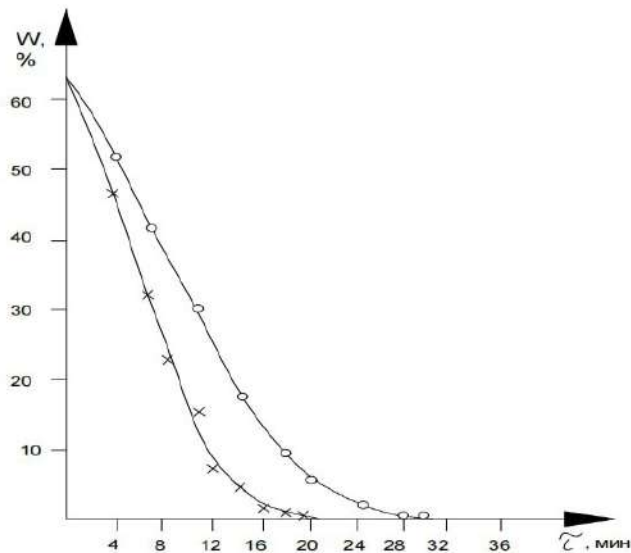


Рис.1. Кинетические кривые сушки

Сокращение времени сушки является следствием интенсификации тепло - и массообмена в периферийной малоинтенсивной зоне. Также были определены зависимости времени сушки от температуры сушильного агента, от

начальной влажности ω , от соотношения расходов теплоносителя $\alpha = \frac{\sum \lambda_{бок}}{\lambda_{об}}$ где α - соотношение расходов сушильного агента; $\sum \lambda_{бок}$ - сумма расходов сушильного агента, подаваемого через боковые вводы; $\lambda_{об}$ - общее количество теплоносителя, вводимое в аппарат.

Для обработки экспериментальных данных было использовано обобщенное уравнение кинетики сушки [1]:

$$q = -G \frac{dw}{dt} = K(W_H - W)(W - B) \quad (1)$$

Обработка кинетических кривых сушки классическим методом имеет тот недостаток, что он предполагает существование трех совершенно различных законов для трех периодов процесса сушки (разогрева, постоянной и падающей скоростей сушки), и представляющего собой органическое единство трех вышеупомянутых стадий.

Примененное нами уравнение (1) описывает весь процесс сушки как единый. На практике уравнение (1) удобнее использовать в интегральной форме:

$$\tau = \frac{G}{(W_H - B)} = \ln \left[\frac{(W_H - W)(A - B)}{(W_H - A)(W - B)} \right] \quad (2)$$

где W_H, W - начальная и текущая влажности;

τ - время сушки;

K - константа скорости сушки

A, B - начальная и конечная равновесные влажности.

Под начальной равновесной влажностью A мы подразумеваем влажность материала, соответствующую моменту времени, при которой температура воздуха в сушильной камере у поверхности материала достигает температуры мокрого термометра. Очевидно, что этот момент времени всегда будет больше нуля, а само значение равновесной влажности A - меньше начальной W_H .

Общее количество сушильного агента, как отмечалось выше, для обоих опытов сохранялось одинаковым. Отсюда можно сделать вывод, что предложенная авторами организация подачи сушильного агента создает более благоприятную гидродинамическую обстановку для процесса сушки, следствием которого является интенсификация процесса тепло- и массообмена.

Экспериментальные значения β_2 и значения начального равновесного влагосодержания были обобщены по методу наименьших квадратов и получено регрессионное уравнение:

$$\beta_2 = 0.0032 \left(\frac{t\lambda}{GW} 10 \right)^{0.8947} (1 - \alpha)^{-0.9364} \quad (3)$$

Были проведены сопоставления коэффициента массопередачи для второго периода процесса сушки β_2^p , рассчитанного по формуле (3), с экспериментальными значениями и это сравнение показало их удовлетворительное согласование.

Заключение

1. Установлено, что наличие дополнительных вводов сушильного агента в аппарате фонтанирующего слоя интенсифицирует процесс сушки по сравнению с аналогичным без дополнительных вводов.

2. С помощью обобщенного уравнения кинетики сушки рассчитаны численные значения начальной и конечной равновесной влажности диацетатцеллюлозы и коэффициента массопередачи для 2-го периода сушки β_2 .

3. Установлено, что коэффициент массопередачи для 2-го периода для процесса сушки диацетатцеллюлозы в аппарате фонтанирующего слоя дополнительным вводом сушильного агента определяется температурой, соотношением расходов теплоносителя, удельной весовой нагрузкой и влажностью. Получено регрессионное уравнение для расчета коэффициента β_2 для 2-го периода.

Литература

1. В.А.Реутский, Б.С.Сажин В кн.: Гидродинамика и тепломассоперенос в технологических процессах. Москва, 2002. с.45-50.

Сведения об авторах

1. **Шаисламов А.Ш.**-профессор кафедры «Энергосбережение и энергетический аудит» Теплоэнергетического факультета Ташкентского государственного технического университета.

2. **Жураев Р.Р.**- старший преподаватель кафедры Энергосбережение и энергетический аудит» Теплоэнергетического факультета Ташкентского государственного технического университета.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Шаисламов А.Ш., Рузиев Ф.Ф., Махмудова Д.Р.
Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан
E-mail: shaislamov55@mail.ru

Аннотация: В данной статье представлены результаты энергетического обследования котельных и системы теплоснабжения металлургического комбината. Проведена оценка потенциала энергосбережения и разработаны соответствующие энергосберегающие мероприятия.

Ключевые слова: насыщенный пар, энергоэффективность, котельная, отопительная нагрузка, продукты сгорания, химический недожег.

ENERGY SAVING IN INDUSTRIAL BOILER STATIONS

Abstract: This article presents the results of an energy investigation of boiler houses and the heat supply system of a metallurgical plant. The energy saving potential was assessed and appropriate energy saving measures were developed.

Key words: saturated steam, energy efficiency, boiler house, heating load, combustion products, chemical underburning.

В настоящее время, особенно важное значение, приобретает проблема эффективности использования ископаемых топливно-энергетических ресурсов. Как известно коэффициент использования топлива в котельных и системе транспорта тепла не отвечает требованиям. Основными причинами этого являются высокая степень износа основного оборудования котельных и теплопроводов.

Фактический срок службы значительной части оборудования котельных, больше предусмотренного технической документацией. Значительная доля котельных не оснащена в достаточной степени средствами автоматического управления технологическими процессами и режимом отпуска продукции, приборами учёта потребляемых ресурсов, произведенной и отпущенной тепловой энергии.

Эффективным способом сокращения потерь и повышения эффективности котельных является периодическое проведение энергетического обследования (энергоаудита). Энергетический аудит проводится в целях определения путей быстрого и эффективного снижения издержек на энергоресурсы и избежание неоправданных затрат на проведение мероприятий энергосбережения.

В данной статье приводятся результаты энергетического обследования

котельных и системы транспорта тепла металлургического комбината г. Бекабад.

Для выработки и бесперебойной подачи горячей воды, химически очищенной воды и насыщенного пара на территории комбината расположены четыре котельных № 1, № 2, № 3, и № 4. Общий годовой расход газа на котельные составляет 4574,428 тыс.м³, общий расход горячей воды- 55380 Гкал. Колебание в потреблении природного газа и горячей воды по месяцам объясняется снижением отопительной нагрузки и ГВС в летний период.

Котельная №1 предназначена для подачи горячей воды и химически очищенной воды для СИО СПЦ-1, мартен, ЭнРЦ, ЦЛАМ, РМЦ,АТЦ, СМТ, ЭТЛ, Заводоуправление, склад, ОМТС. В котельной установлены два котла «Харакат-2000ГГ» теплопроизводительность - 2,0 Гкал/ч, рабочее давление - 6 кгс/см², поверхность нагрева - 84м², водяной объем- 4 м³, температура воды - 94 °С . За котлом установлен воздухоподогреватель.

Во время обследования в работе находился котел №1 “Харакат-2000ГГ ”. Режимная карта для этого котла была выполнена на одной 100 %-й нагрузке.

Состав уходящих газов по режимной карте составляло СО₂=9%, О₂=3,6%. Расчеты показали, что при этих значениях газов СО₂ и О₂ в продуктах сгорания должен быть оксид углерод СО~0,5%, что говорит о наличии химического недожога.

Измерения состава продуктов сгорания, проведенные нами показали, что котел эксплуатируется с химическим недожогом, концентрация СО в уходящих газах достигает 0,3%.

Котельная №2 предназначена для подачи горячей воды на отопление и ГВС на ККЦ, РМЦ, ЦРМО, СПЦ-2, ЭлРЦ, Копровый цех. Установлен 1 паровой котел ДЕ 25/14, производительность 25 тонн/час пара давлением 14 кгс/см², три водогрейных котла марки ВГЛ-2, теплопроизводительность - 2 Гкал/ч, рабочее давление - 6 кгс/см², поверхность нагрева - 157м², водяной объем- 6,8 м³, температура воды - 115 °С . На отметке +7,0 м установлены четыре подогревателя. Из них два для подогрева исходной воды и два для подогрева ХОВ. Кроме этого имеется три бойлера для подогрева сетевой воды и три аккумуляторных бака, емкостью 700 м³ каждый. Для удаления кислорода из питательной воды котлов установлен деаэратор ДСА 100/50, производительностью 100 м³/ч., V-50м³.

Во время обследования в работе находились котлы ВГЛ-2 №1 и №3.

Режимная карта для этих котлов также была выполнена на одной нагрузке.

Теплотехнические измерения показали, что содержание оксида углерода СО в дымовых газах за котлом №1 – 0,0016%, за котлом №3 – 0,011%. Котел №1 эксплуатируется с очень большим избытком воздуха, поэтому его КПД всего 87%.

Котельная №3 предназначена для подогрева воды и подачи ее для отопления и ГВС цехам ЭСПЦ, прачечная, ОГЭ, КИП и А, УКС, ЦЛК СПЦ-2, комбинат питания. В котельной установлены два водогрейных котла марки ВГЛ-2, теплопроизводительность - 2 Гкал/ч, рабочее давление - 6 кгс/см², поверхность нагрева - 157м², водяной объем- 6,8 м³, температура воды - 115 °С . Из котлов вода поступает в водо-водяные теплообменники №1,2,3 и подогревает сетевую воду. Из теплообменников вода возвращается в бак ХОВ.

Сетевая вода из обратной линии поступает в сетевые насосы №1,2 Д320/70 Q-320 м³/ч, Н-70м. От сетевых насосов вода подается на теплообменники №1,2,3, где подогревается котловой водой и подается в сеть на отопление и ГВС.

Во время обследования в работе находился один котел ВГЛ-2 №2.

Режимная карта для этого котла также была выполнена на одной нагрузке.

В ходе обследования и измерений выяснилось, что расходомер газа “Метран-333” работает с частыми пульсациями. Расчетным способом нами был определен действительный расход газа на котел. Было выявлено, что показания расходомера газа “Метран-333” завышает расход относительно действительного расхода газа.

Предложено, для устранения пульсаций, установить датчик “Метрана - 333” в помещении котельной, на газопроводе после ГРУ.

Котельная №4 предназначена для подогрева воды и подачи ее для отопления и ГВС на ПТНП, ЦМИ, ЖДЦ, Войсковая часть, ОТО, ПКО. В котельной установлены два котла «Харакат-2000ГГ» теплопроизводительность - 2,0 Гкал/ч, рабочее давление - 6 кгс/см², поверхность нагрева - 84м², водяной объем- 4 м³, температура воды - 94 °С.

Во время обследования в работе находился один котел ВГЛ-2.

Режимная карта для этого котла также была выполнена на одной нагрузке.

Обследования показали, что котел работал с завышенными значениями коэффициента избытка воздуха.

Так же был проведен термографический анализ обмуровки котлов (котлы ВГЛ-2, Харакат-2 и котел-утилизатор ПКК-75/24). Результаты обследования показали, что теплоизоляция у значительной части котлов не достаточной толщины, разрушены или вовсе отсутствует. Температура поверхности котлов в большей части достигает от 70 до 100 и более градусов. Это влечет большие

тепловые потери. Это свидетельствует о некачественном выполнении, проведенного 2019-2020 годах работ по теплоизоляции котлов.

В результате проведенного визуального и термографического анализа системы тепло- и пароснабжения было установлено, что теплоизоляция у значительной части теплопроводов и паропроводов не достаточной толщины, разрушены или вовсе отсутствует.

Температура поверхности трубопроводов для горячей воды без изоляции достигают температуры 70,8 °С и паропровода без изоляции с температуры 103,3°С.

Организация и проведение энергетического обследования проводились в соответствии с [1].

При проведении обследования использовались отчетные документы комбината, снимались показания, как штатных приборов установок, так и портативных. Показания режимов работы установок контролировались и снимались со щитовых приборов и записях в журнал наблюдений.

Для проведения энергетического обследования котельных для анализа состава дымовых газов использовался газоанализатор testo-330.

Термографические обследования теплопроводов, паропроводов и котлов проводились при помощи тепловизора testo -875-2.

Измерение температур теплоносителей, воздуха и наружных поверхностей элементов агрегатов осуществлялись оптическими пирометрами «SMART SENSOR AR 892» и «SMART SENSOR AR 300».

Расходы теплоносителей и оборотной воды измерялись ультразвуковым расходомером «ДНЕПР-7».

Заключение

По результатам теплотехнических измерений на предприятии составлены характеристики теплопроводов по комбинату.

На основе анализа результатов энергетического обследования котельных и теплопроводов была проведена оценка потенциала энергосбережения и разработаны соответствующие энергосберегающие мероприятия в соответствии [2].

Экономический эффект от внедрения энергосберегающих мероприятий составит 246,3 млн.сум в год, а общий срок окупаемости- 0,9 лет.

Литература

1. Правила проведения энергетических обследований и экспертиз потребителей топливно-энергетических ресурсов. Приложение к постановлению Кабинета Министров РУз от « 7 » августа 2006 № 164.
2. Рекомендации по разработке планов организационно-технических

мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов на предприятиях, организациях и хозяйствующих субъектах. Одобрено решением Комиссии по экономии топливно-энергетических ресурсов КМ РУз от 30.01.2002 г. № 31-6

Сведения об авторах

1. **Шаисламов А.Ш.** профессор кафедры «Энергосбережение и энергетический аудит» Теплоэнергетического факультета Ташкентского государственного технического университета.

2. **Рузиев Ф.Ф.**- магистрант 2-го курса кафедры «Энергосбережение и энергетический аудит» Теплоэнергетического факультета Ташкентского государственного технического университета.

3. **Махмудова Д.Р.** магистрант 1-го курса кафедры «Энергосбережение и энергетический аудит» Теплоэнергетического факультета Ташкентского государственного технического университета.

САРФАИ ЭНЕРГИЯ ДАР НУҚТАҲОИ МАРКАЗИИ ГАРМӢ

Алимардонов Б.М., Раҳимов Ш.С.

*МТҒ "Донишқадаи тиббӣ-иҷтимоии Тоҷикистон", ш. Душанбе,
Тоҷикистон*

Аннотатсия. Дар мақола муаллифон чорабиниҳои асосии каммасрафи энергияро барои сарфаи энергия дар нуқтаҳои марказии гармӣ муайян мекунад.

Калимаҳои калидӣ: НМГ, сарфаи қувваи барқ, энергетикаи гармо.

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТОЧКАХ НАГРЕВА

Аннотация. В статье автор определяет основные мероприятия по энергосбережению для экономии энергии в центральных точках нагрева.

Ключевые слова: ЦТП, энергосбережение, тепловая энергия.

Сарфаи қувва дар энергетикаи гармо мавзӯи муҳимест, ки дар ҷаҳони муосир торафт муҳимтар мегардад. Азбаски арзиши қувваи барқ афзоиш меёбад ва талабот ба он меафзояд, ёфтани роҳҳои кам кардани истеъмоли энергия ва баланд бардоштани самаранокии энергия муҳим аст. Дар ин мақола, ман баъзе роҳҳои самараноки сарфаи энергияро дар нуқтаҳои гармидиҳии марказӣ ва дар маҷмӯъ дар энергетикаи гармо баррасӣ мекунам.

Мо метавонем бо истифода аз изолятсия энергияро сарфа кунем. Он барои нигоҳ доштани гармӣ ва энергия дар дохили бино кӯмак мекунад ва миқдори энергияро барои гарм кардан ё хунук кардани бино кам мекунад. Интиҳоби дурусти изолятсияи гармӣ ба кам шудани талафоти энергия мусоидат мекунад, зеро он ба нигоҳ доштани ҳарорати доимӣ дар дохили нуқтаи марказии гармӣ (НМГ) кӯмак мекунад. Он ба кам кардани миқдори энергияи гумшуда ҳангоми интиқоли гармӣ кӯмак мекунад, ки системаи энергияи гармиро самараноктар мекунад. Изолятсияи қубурҳо инчунин ба коҳиш додани хатари зангзанӣ мусоидат мекунад, ки метавонад ба қубурҳо ва дигар ҷузъҳои системаи гармидиҳӣ зарари гарон расонад. Ғайр аз ин, он метавонад ба паст шудани сатҳи садо мусоидат намояд, ки системаи гармидиҳии энергетикиро бароҳаттар ва беҳатар барои кор табдил диҳад.

Вақте ки суҳан дар бораи интиҳоби намуди дурусти изолятсияи қубур меравад, якчанд омилҳоро ба назар гирифтани лозим аст. Аввалан, навъи маводи барои изолятсия истифодашаванда бояд вобаста ба ҳарорат ва фишори система интиҳоб карда шавад. Маводҳои маъмуле, ки барои изолятсияи қубурҳо истифода мешаванд, пенополиуретан, нахи шиша ва пеноэластомер мебошанд. Изолятсияи иловагӣ бояд аз рӯи диаметри қубур ва инчунин дарозии қубур интиҳоб карда шавад.

Илова ба интихоби намуди дурусти изолятсия, инчунин муҳим аст, ки изолятсия дуруст насб карда шавад. Насби нодурусти изолятсияи кубур метавонад боиси талафоти энергия ва мушкилоти дигар, аз қабилӣ зангзанӣ ва баланд шудани садо гардад. Ғайр аз он, таъмини нигоҳдории дуруст муҳим аст, зеро ҳама гуна зарар метавонад боиси талафоти минбаъдаи энергия гардад.

Мунтазам тафтиш кардани зарари механикӣ ё гармӣ муҳим аст. Ин кӯмак мекунад, ки изолятсия дар ҳолати хуб бошад ва ҳама гуна мушкилотро зуд муайян ва ислоҳ кардан мумкин аст.

Барои баланд бардоштани самаранокии энергия, НМГ автоматикунонии таҷҳизот ва таҷдиди онҳоро анҷом медиҳад, ки он аз ҷумла:

- Навсозии дискҳои басомади танзимшаванда дар таҷҳизоти компрессорӣ ва насосӣ;
- Автоматикунонии тамоми равандҳои тақсимои энергияи гармӣ дар нуқтаи марказии гармӣ;
- Диспетчеризатсияи НМГ;
- Навсозии пурраи тамоми системаи баҳисобгирии энергияи гармӣ;
- Иваз кардани гармидиҳандаҳои кубурҳои пӯст ба пластинкаҳо [1];

Ҷанбаҳои мусбати истифодаи нуқтаҳои гармидиҳии марказӣ зиёданд. Аввалан, онҳо барои паҳн кардани гармӣ дар атрофи хона масъуланд ва гармӣ ва бароҳати хонаро таъмин мекунанд. Дуюм, онҳо нисбат ба дигар шаклҳои гармидиҳӣ самараноктаранд, зеро онҳо энергияро аз манбаи сӯзишворӣ ба монанди газ ё нафт ба энергияи гармӣ табдил медиҳанд. Сеюм, нигоҳдории онҳо нисбат ба дигар намудҳои гармидиҳӣ осонтар аст, зеро онҳо нигоҳдории камтарро талаб мекунанд. Ниҳоят, онҳо одатан нисбат ба дигар шаклҳои гармидиҳӣ камхарчтаранд, зеро барои қор кардани онҳо нерӯи камтар лозим аст. Омезиши ҳамаи ин омилҳо нуқтаҳои гармидиҳии марказиро интихоби беҳтарин барои ҳар як хона месозад. Миёнарав байни маркази барқи гармӣ ва истеъмолкунандагони энергияи гармӣ ивазкунандаҳои гармӣ мебошанд, ки таваҷҷӯҳи бештарро намудҳои пластинка (қабатӣ, плитавӣ) ташкил медиҳанд. Ин дастгоҳест, ки барои интиқоли гармӣ байни ду моеъ дар ҳарорати гуногун истифода мешавад. Он дар нерӯгоҳҳои барқӣ, корхонаҳои кимиёвӣ ва дигар иншооти саноатӣ, аз ҷумла дар НМГ васеъ истифода мешавад. Истифодаи он бартарихи зиёд дорад, аз ҷумла баланд бардоштани самаранокӣ, баланд бардоштани амният ва сарфаи хароҷот. Табодули гармии плитавӣ барои ба ҳадди аксар расонидани интиқоли гармӣ байни ду моеъ тарҳрезӣ шудааст, ки истеъмоли энергияро коҳиш медиҳад ва самаранокиро беҳтар мекунад. Онҳо нисбат ба дигар намудҳои мубодилаи гармӣ самараноктаранд, зеро онҳо барои интиқоли гармӣ майдони калонтарро истифода мебаранд. Бартариӣ дигари

истифодаи он баланд бардоштани бехатарӣ аст. Табодули гармии плитавӣ барои нигоҳ доштани моеъҳо пешбинӣ шудааст, ки аз бархурд бо ҳамдигар ва пайдоиши хатарҳои эҳтимоли пешгирӣ мекунад. Ғайр аз он, онҳо ба мисли герметикӣ тарҳрезӣ шудаанд, ки ҳама гуна резиш ё ифлосшавии эҳтимолиро пешгирӣ мекунанд. Одатан, ин намуди гармидиҳандаҳо одатан нисбат ба дигарон самараноктаранд, ки боиси кам шудани хароҷоти барқ мегардад. Ғайр аз он, онҳо одатан барои насб ва нигоҳдорӣ арзонтаранд, ки ин боиси сарфаи иловагӣ мегардад.

Хулоса

Ҳамин тавр, табодули гармии плитавӣ бартарихи зиёд, аз ҷумла самаранокии баланд, бехатарии беҳтар ва сарфаи хароҷотро пешниҳод мекунад. Онҳо интихоби беҳтарин барои ҳама гуна барномаҳои саноатӣ мебошанд, ки интиқоли самараноки гармиро байни ду моеъ дар ҳарорати гуногун талаб мекунанд. Сарфаи энергия дар нуқтаҳои энергетикӣ ва марказии гармӣ як қисми хеле муҳими раванди гармидиҳӣ мебошад. Ғайр аз он, таъмин намудани санҷиш ва нигоҳдории мунтазами ҳамаи чузъҳои система муҳим аст, зеро ин ба кори самараноки система мусоидат мекунад. Бо муносибати дуруст, сарфаи назарраси энергияро ба даст овардан мумкин аст, ки ба кам кардани хароҷот ва беҳтар кардани муҳити зист мусоидат мекунад.

Адабиёт

1. Соколов Е.Я. Гармидиҳӣ ва шабакаҳои гармӣ М., Энергоиздат. 1982.
2. Ф. Немсев. Қувваҳои гармидиҳӣ ва таъминоти гармӣ, Москва, «Высшая школа», 1984.

Маълумот дар бораи муаллифон

Алимардонов Бобохон Маҳмадиевич, ассистенти кафедраи фанҳои ҷомеашиносии МТҒ “Донишкадаи тиббӣ-иҷтимоии Тоҷикистон”, тел.: (+992) 918 52 9545, E-mail: bobokhon2020@mail.ru

Раҳимов Шухрат Саймаҳмудович, ассистенти кафедраи фанҳои ҷомеашиносии МТҒ “Донишкадаи тиббӣ-иҷтимоии Тоҷикистон”, тел.: (+992) 985 80 4100, E-mail: rakhimov84_84@mail.ru

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Зиязов Дмитрий Романович

СамКЖТ (Самарский колледж железнодорожного транспорта им. А.А.

Буянова, г. Самара

dima.ziazov@mail.ru

Руководитель: Максимова Татьяна Сергеевна (преподаватель)

Теплоэнергетика и теплотехника - это области инженерии, связанные с производством, передачей, распределением и использованием тепловой энергии. Эти области занимаются преобразованием тепловой энергии, произведенной в различных процессах, в другие виды энергии, а также ее передачей и использованием в промышленности, коммерции и быту.

Теплоэнергетика - это наука и технология, связанные с производством и использованием тепловой энергии. Эта область включает в себя различные технологии, такие как котельные установки, тепловые электростанции и другие системы, предназначенные для производства тепла и электроэнергии. Теплотехника, с другой стороны, фокусируется на технических аспектах передачи, распределения и использования тепловой энергии. Это включает в себя изучение тепловых процессов, теплообмена и тепловых систем.

Теплоэнергетические и теплотехнические системы

Теплотехнические и теплоэнергетические системы представляют собой комплекс инженерных решений и технических устройств, ориентированных на производство, передачу, распределение и использование тепловой энергии. Эти системы играют важную роль в различных областях, включая промышленность, строительство, коммунальное хозяйство и т.д.

Теплотехнические системы занимаются изучением и применением теплотехнических процессов, теплообмена и методов передачи тепловой энергии. В рамках теплотехники разрабатываются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC), тепловые насосы, а также тепловые системы в промышленности. Процессы теплоизоляции, теплоотдачи и теплоаккумуляции также подпадают под область теплотехники.

Примеры теплотехнических систем:

1. Отопление: Системы, обеспечивающие поддержание заданной температуры в помещениях.

2. Вентиляция и кондиционирование воздуха (HVAC): Комплексные системы для поддержания качества воздуха и комфортных условий в зданиях.

3. Тепловые насосы: Устройства, использующие тепловую энергию из окружающей среды для обогрева или охлаждения помещений.

4. Тепловые системы в промышленности: Технологии и оборудование для тепловых процессов в промышленности, такие как нагрев, охлаждение, парогенерация и др.

5. Теплоэнергетические системы:

Теплоэнергетика шире охватывает вопросы производства и распределения тепловой энергии, включая технические и организационные аспекты. Эта область включает в себя проектирование и эксплуатацию тепловых электростанций, когенерацию (совмещенное производство тепловой и электрической энергии), теплоснабжение населенных пунктов, а также тепловые сети и инфраструктуру для передачи тепла от источников к конечным потребителям.

Примеры теплоэнергетических систем:

1. Тепловые электростанции: Установки, использующие тепловую энергию для производства электроэнергии.

2. Теплоснабжение: Системы поставки тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий.

3. Тепловые сети: Инфраструктура для передачи тепла от источников к потребителям, включая трубопроводы и теплообменные станции.

4. Когенерация: Процесс одновременного производства тепловой и электрической энергии.

Обе области, теплотехника и теплоэнергетика, тесно взаимосвязаны и взаимозависимы, поскольку успешная эксплуатация теплотехнических систем часто требует эффективной организации теплоэнергетических процессов и инфраструктуры. Развитие современных и устойчивых теплоснабжающих систем и технологий становится все более важным аспектом современной энергетики.

Развитие теплотехнических и теплоэнергетических систем

Развитие теплотехнических и теплоэнергетических систем направлено на повышение эффективности, устойчивости, а также снижение негативного воздействия на окружающую среду. Вот несколько ключевых способов развития этих систем:

1. Интеграция современных технологий, направленных на снижение энергопотребления, таких как высокоэффективные системы отопления, теплоизоляция зданий, тепловые насосы, и системы управления энергопотреблением.

2. Улучшение технологий в тепловой энергетике, включая использование современных материалов, оптимизацию процессов сгорания, повышение тепловой эффективности и разработку новых методов преобразования энергии.

3. Применение совмещенного производства тепловой и электрической энергии (когенерация) и, в некоторых случаях, производство трех видов энергии - тепловой, электрической и холодильной (тригенерация).

4. Интеграция возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветровые установки, в теплотехнические и теплоэнергетические системы для дополнительного снабжения тепловой и электрической энергией.

5. Внедрение технологий "умных" сетей для оптимизации передачи и распределения тепловой энергии, с использованием современных систем мониторинга, дистанционного управления и аналитики данных.

6. Использование отходов и биомассы для производства тепловой энергии, что способствует снижению объема отходов и созданию более устойчивых и экологически чистых систем.

7. Поощрение использования энергоэффективных источников тепла и создание стандартов для нового строительства, способствующих снижению энергопотребления зданий.

8. Модернизация и расширение инфраструктуры тепловых сетей с использованием передовых материалов и технологий для улучшения передачи и распределения тепловой энергии.

9. Разработка и внедрение технологий для хранения тепловой энергии, таких как тепловые аккумуляторы и другие методы хранения.

10. Развитие образовательных программ и подготовка специалистов в области теплотехники и теплоэнергетики для эффективного внедрения новых технологий и методов.



Общее развитие теплотехнических и теплоэнергетических систем направлено на создание более устойчивых, эффективных и экологически чистых энергетических решений. Это включает в себя использование

современных технологий, разработку инноваций и принятие устойчивых энергетических практик.

Заключение о теплотехнических и теплоэнергетических систем

В заключение, теплотехнические и теплоэнергетические системы играют ключевую роль в обеспечении современных потребностей в тепле и энергии. Они являются важной частью инфраструктуры, обеспечивая тепловую и электрическую энергию для промышленности, коммерции и домашнего использования. Развитие этих систем направлено на повышение эффективности, устойчивости и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Современные тренды в области теплотехники и теплоэнергетики включают в себя внедрение современных технологий, таких как высокоэффективные тепловые насосы, умные сети, возобновляемые источники энергии, а также системы когенерации и тригенерации. Эти инновации направлены на снижение энергопотребления, оптимизацию производства энергии и создание более устойчивых энергетических систем.

Литература

1. Тепловой расчет агрегатов (нормативный метод) Кузнецов Н.В.
2. В.П. Исаченко Теплопередача
3. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция К.В. Тихомиров
4. О.К. Григорьева Технико-экономическая оценка энергоблоков электростанций

Сведения об авторах

Зиязов Дмитрий Романович – студент 3 курса, группы ЭН-3-647, 13.02.07. Электроснабжение (по отраслям), СамКЖТ им.А.А.Буянова.

СЕКЦИЯ – 4

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В
ЭНЕРГЕТИКЕ**

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ – ГАРАНТИЯ СТАБИЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ТАДЖИКИСТАНА

Самади Ш.Д.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

филиал в г. Душанбе (Республика Таджикистан)

E-mail: s.shakarbek@mail.ru

***Аннотация:** В работе представлена краткая информация об электроэнергетической Республики Таджикистан, рассмотрены особенности процесса цифровизации электроэнергетики в отечественной экономике. Приведены преимущества цифровизации электроэнергетики и рассмотрены различные предпосылки развития цифровизации в разных областях электроэнергетики, а также государственные программы по внедрению цифровизации.*

***Ключевые слова:** цифровизации, электроэнергетика, экономика, Республика Таджикистан.*

DIGITALIZATION OF ELECTRIC POWER INDUSTRY – GUARANTEE STABLE DEVELOPMENT OF THE ECONOMY OF TAJIKISTAN

***Annotation:** The work provides brief information about the electric power industry of the Republic of Tajikistan, and examines the features of the process of digitalization of the electric power industry in the domestic economy. The advantages of digitalization of the electric power industry are presented and various prerequisites for the development of digitalization in different areas of the electric power industry are considered, as well as government programs for the implementation of digitalization.*

***Keywords:** digitalization, electric power industry, economics, Republic of Tajikistan.*

Рыночные отношения в энергетическом хозяйстве, представляющие собой при всей своей специфичности органическую часть общего рынка страны, не могут успешно развиваться без учета и использование общих закономерностей рыночного хозяйства, в отрыве от осуществляемой в Таджикистане экономической реформы. Последняя в свою очередь оказывает непосредственное воздействие на развитие рынка энергоносителей. С другой стороны, складывающиеся энергорыночные отношения могут в заметной мере ускорять или тормозить экономическую реформу. В этой связи решение задач

экономической реформы и реорганизации топливно-энергетического комплекса (ТЭК) может быть эффективным только при комплексном подходе.

Развиваясь под влиянием растущих требований народного хозяйства к объему, виду и качеству энергоносителей, энергетика в свою очередь воздействует на темпы и пропорции развития экономики и через них может корректировать спрос на энергию. В настоящее время дать надежные количественные характеристики этого влияния энергетики на народное хозяйство республики в силу целого ряда объективных условий переходного периода не представляется возможным. Вместе с тем опыт развитых стран свидетельствует, что даже самая грубая оценка проявления возможной реакции экономики на те или иные изменения в энергетике (финансовые, технические, институциональные, ценовые и др.) весьма важна, так как именно она позволяет выработать целесообразную стратегию развития не только энергетики, но и народного хозяйства.

До 2011 года энергосистема РТ, т.е. энергосистема южной и северной части республики работали отдельно. 30- ноября 2011 года была сдана в эксплуатацию ЛЭП-500кВ Юг – Север соединяющая южную энергосистему страны с северной и создана единая энергетическая система страны. Все это значительно повысило возможности физического доступа всего населения Таджикистана к вырабатываемой электроэнергии.

С целью устранения угроз энергетической безопасности и обеспечения отдаленных районов страны дешевой электроэнергией, без отрицательного воздействия на экологию, Правительство РТ приняло Долгосрочную Программу строительства малых ГЭС в период 2009-2020 гг. (постановление Правительства №73 от 2 февраля 2009 г.), согласно которой к 2020 г. в республике построены около 189 малых электростанций, с общей установленной мощностью 103181 кВт и годовой выработкой электроэнергии 641645,9 тыс. кВт.час. Также в стране решается вопрос о реконструкции Душанбинской ТЭЦ-1 и «Западная котельная», чтобы обеспечить г. Душанбе теплом-100%, что позволит частично решить вопрос обеспечения энергетической безопасности.

За последние 10 лет Правительством РТ после подписания ряда межгосударственных соглашений, для достижения энергетической безопасности, были построены и введены в эксплуатацию стратегически важные объекты, такие как:

- Сангтудинская ГЭС – 1 (Уст. Мощность - 670 МВт);
- Сангтудинская ГЭС –2 (220 МВт);
- Душанбинская ТЭЦ -2 (400 МВт);

Очень важно отметить, что Правительство РТ своими силами возобновило строительство Рогунской ГЭС одной из самой крупной ГЭС в мире, с 6-ю агрегатами установленной мощностью 3600 МВт. (На сегодня запущены 2 временных агрегата с приблизительной мощностью 300-400 МВт).

После принятия вышеизложенных мероприятий среднегодовая выработка электроэнергии в таджикской энергосистеме, состоящей в основном из гидроэлектростанций составляет около 20 млрд.кВт.ч. В республике к 2028-30гг производство электроэнергии предполагается увеличить в 1,7 раза за счет завершения строительства Рагунской ГЭС и Шурабской ГЭС мощностью 3600 МВт и 900МВт соответственно. Однако реальные возможности связаны с привлечением соответствующих инвестиций и прежде всего иностранных.

В последние годы глубокие институциональные изменения в мировой электроэнергетике, формирование освободившихся рынков потребления электроэнергии и тепла привели к появлению новых видов коммерческой деятельности. Таким образом, на основании Постановления Правительства Республики Таджикистан от 31 августа 2011 года под №431 «Об утверждении Индивидуального Плана реструктуризации ОАХК «Барки Точик» на 2011-2018 годы» энергокомпания «Барки Точик» с 1 декабря 2020года была разделена на три организации отдельно. Это ОАО «Барки Точик»-генерация, ОАО «Шабакахои интиколи барк»-передача, ОАО «Шабакахои таксимоти барк»-распределение.

Современный мир требует непрерывного движения и развития. Этому способствует внедрение новых технологий в различные сферы жизнедеятельности человека, в том числе и энергетики. Тем самым переходом к новым бизнес-моделям является цифровизация энергетики.

Президента РТ в своём Послание «О направлениях внутренней и внешней политики Республики Таджикистан» от 26- декабря 2018 года дал поручение: «Правительству страны поручается в дальнейшем первостепенное значение придавать качественным аспектам роста национальной экономики, укреплению человеческого потенциала, организации производства конечной продукции путем широкого использования современной технологии и внедрения инноваций, повышению экономической активности населения, совершенствованию системы поддержки предпринимательства и инвестирования и расширению цифровой экономики.»

Концепция цифровой экономики в Республике Таджикистан было разработана на основе Послания Президента Республики Таджикистан, Лидера нации уважаемого Эмомали Рахмона «О направлениях внутренней и внешней политики Республики Таджикистан» от 26 декабря 2018 года и в соответствии

с постановлением Республики Таджикистан от 31 января 2019 года, №39 «Об итогах социально-экономического развития Республики Таджикистан в 2018 году и задачах на 2019 год» и утвержден Постановлением Правительство РТ от «30» декабря 2019 года, №642, суть которой заключается в развитии цифровой экономики, основным фактором которой является расширение пользования цифровыми данными, повышающими эффективность на разных стадиях производственного цикла. В 4-м пункте 2-го раздела Концепции написано: «Глобальные процессы цифровой трансформации постоянно ускоряются, охватывая все новые и новые области человеческой деятельности. Также ускоренными темпами происходит развитие новых «прорывных» технологий, верное применение которых определяет национальную конкурентоспособность в XXI столетии. Наблюдается смена парадигмы цифровой трансформации: если прежде ведущие страны мира рассматривали цифровые преобразования в рамках отдельных отраслей, то сегодня национальные экономики ведущих стран мира целиком переходят на цифровые рельсы. Эта новая парадигма ляжет в основу процесс с цифровизации Республики Таджикистан» [1].

Концепция предусматривает трансформацию ключевых областей экономической деятельности республики, цифровизация которых может иметь каскадное воздействие на всю экономику страны, как преобразование сектора государственных услуг и переход к цифровому правительству, цифровизация социальной сферы, а также ключевых отраслей производства, таких как энергетика, добывающая промышленность, сельское хозяйство и создание новых секторов, например, финансовых технологий (FinTech) [2].

Цифровая энергетика является неотъемлемой частью цифровой экономики будущего. Ожидается, что уже в краткосрочной перспективе цифровизация позволит предприятиям электроэнергетического отрасли увеличить доходы и создаст дальнейшего надёжного устойчивого роста. Мировой рынок электроэнергетики существенно изменяется за счет перехода на возобновляемые источники генерации, децентрализацию и цифровизацию. Это влечет за собой увеличение сложности энергосистемы, приводит к дополнительному обмену информацией между ее частями, требует более сложного мониторинга и контроля каждого из узлов. При этом, помимо экологического выигрыша, от новой системы энергетики требуют сократить расходы на предоставление сервиса конечным потребителям при повышении его качества. В качестве перспективной технологии, позволяющей обеспечить необходимый уровень информационного обмена, мониторинга и управления в энергосистеме, может выступить технология распределенного реестра [2].

Сегодня цифровизация практически становится синонимом конкурентоспособности и открывает доступ к рынкам будущего, прогноз ввода новых мощностей генерации электроэнергии в мире, размер рынка цифровых технологий в энергетике. Цифровизация позволяет управлять более сложными энергосистемами, способствуя развитию широкого спектра новых технологий, в том числе распределенной генерации.

Описанная классификация цифровизации, это и есть – внедрение цифровых технологий обработанного материала в производственные мощности организаций. Особое внимание следует уделить именно обработке информации, показанной в цифровом виде, в виде, в котором смогут определённые машины дискретной работы обработать материал. Данная система меняет процесс управления, беря, на себя весь объем документооборота бумажного вида.

Цифровизация становится абсолютно необходимой в энергетике. Поскольку быстрота протекания энергетических процессов, большой объем информации и постоянное усложнение энергосистемы обуславливают широкое применение информационных технологий в оперативно-диспетчерском управлении и являются ключевыми для применения цифры в управлении энергетическими процессами [3].

Современная возобновляемая энергетика (ВЭ) включает в себя высокотехнологичные производства использования биомассы; гидроэнергетику; геотермальные, ветровые, солнечные, приливные, волновые установки.

Особое значение для успешного развития ВЭ имеет широкое использование цифровых технологий:

- в создании нового высокотехнологичного оборудования для солнечных, ветровых, приливных, волновых, геотермальных установок;
- в использовании сложных методов достоверной оценки соответствующих ресурсов;
- для мониторинга при использовании миллионов энергоустановок (ВЭУ, геотермальных установок, «солнечных крыш» и т.д.);
- для обеспечения надежной эксплуатации и эффективного использования большого числа источников генерации;
- для решения проблем надежности гарантированного энергоснабжения потребителей при многочисленных разветвленных энергосетях.

В рамках реализации проекта «Цифровизация электроэнергетика» нам предстоит, объединив усилия всех заинтересованных сторон, систематизировать уже полученный опыт, найти совместные точки

соприкосновения финансового и интеллектуального потенциала с тем, чтобы всем вместе сформулировать целевое видение цифровизации

Литература

1. Послание Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона «Об основных направлениях внутренней и внешней политики республики». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mfa.tj/> (дата обращения: 01.12.2023).

2. Цифровая экономика. [Электронный ресурс] URL: <https://medium.com/semi-ras/цифровая-экономика-и-цифр>. (дата обращения: 01.12.2023).

3. Цифровизация [Электронный ресурс] URL: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/цифровизация> (дата обращения: 01.12.2023).

Сведения об авторе:

Самадӣ Ш.Д. — к.э.н., заместитель директора филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе по общим вопросам, e-mail: s.shakarbek@mail.ru, тел: +992927741958.

ПРОГРЕСС В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЧЕТЧИКОВ: ТРАНСФОРМАЦИЯ СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Давлатов М.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ахъёев Дж.С.

Аннотация: В статье рассмотрена эволюция электроэнергетических счетчиков, ключевые отличия между традиционными счетчиками и новым поколением умных счетчиков. Также рассмотрены преимущества и функциональные возможности, предлагаемые новыми счетчиками, которые революционизировали наше понимание и управление энергопотреблением.

Ключевые слова: электроэнергия, счетчики электрической энергии, измерение, эффективность, мониторинг

PROGRESS IN THE FIELD OF ELECTRICITY METERS: TRANSFORMATION OF THE METHOD OF MEASURING ENERGY CONSUMPTION

Abstract: This article explores the evolution of electric power meters, highlighting key distinctions between traditional meters and the latest generation of smart meters. It also delves into the advantages and functionalities offered by these new meters, which have revolutionized our understanding and management of energy consumption.

Keywords: electrical energy, electric meters, measurement, efficiency, monitoring

Приборы учета электрической энергии – это разнообразные электрические счетчики, позволяющие определять расход потребленной энергии, как на производстве, так и в быту. Первые приборы для учета электрической энергии появились в конце 19 века, когда удалось превратить электричество в продукт потребительского спроса. Стандартизация счетчиков развивалась параллельно совершенствованию систем освещения.

Электроэнергетические счетчики играют ключевую роль в точном измерении и мониторинге энергопотребления. За последние годы в сфере технологии счетчиков произошли значительные прогрессивные изменения, открывая новую эру эффективности, точности и удобства.

Традиционные счетчики. Традиционные электроэнергетические счетчики, также известные как электромеханические счетчики, являлись основой учета энергии утилитарных компаний на протяжении десятилетий. Эти счетчики работали с помощью вращающихся дисков или шкал для измерения и

регистрации энергопотребления. Несмотря на то, что они выполняли свою функцию, у них были ограничения в точности, возможностях удаленного мониторинга и доступности данных в режиме реального времени.

Эра умных счетчиков. Умные счетчики представляют собой значительный прорыв в технологии счетчиков. Эти передовые устройства используют цифровую технологию и возможности двусторонней связи для предоставления целого ряда преимуществ и функций.

Одним из основных преимуществ умных счетчиков - повышенная точность и прецизионность измерений. В отличие от традиционных счетчиков, которые могут подвергаться механическому износу, умные счетчики используют электронные датчики и полупроводниковые компоненты, обеспечивая постоянные и надежные измерения. Это повышенная точность позволяет более точно выставить счета и позволяет потребителям лучше понять свои привычки потребления энергии.

Умные счетчики предоставляют пользователям и утилитарным компаниям возможность мониторинга энергопотребления в режиме реального времени. С помощью беспроводных сетей связи эти счетчики предоставляют актуальную информацию о потребляемой электроэнергии, позволяя пользователям отслеживать паттерны потребления и принимать осознанные решения относительно управления энергией. Встроенный модем, позволяет не прокладывать километры сигнальных проводов для передачи информации по силовым линиям. Информация будет передана другим, более дешевым способом.

Кроме того, утилитарные компании могут удаленно получать доступ к данным счетчиков, упрощая процессы биллинга и уменьшая необходимость ручного считывания показаний.

Благодаря возможностям сбора данных умные счетчики предоставляют детальный анализ потребления энергии. Анализируя исторические данные и паттерны потребления, потребители могут выявить возможности по экономии энергии, изменить свои привычки и оптимизировать энергоэффективность. Это позволяет отдельным лицам и предприятиям снизить свой углеродный след и уменьшить расходы на энергию.

Умные счетчики облегчают внедрение моделей ценообразования в зависимости от времени, при которых тарифы на электроэнергию меняются в зависимости от уровня спроса в течение дня. Это стимулирует потребителей перенести энергоемкие активности на периоды с низким спросом, сбалансировав нагрузку на электрическую сеть и способствуя эффективному потреблению энергии. Кроме того, умные счетчики позволяют реализовать

программы реагирования на спрос, позволяя утилитарным компаниям запрашивать добровольное снижение нагрузки в периоды пикового спроса, улучшая стабильность электрической сети и снижая вероятность отключения электроэнергии.

Еще одно преимущество умных счетчиков - их совместимость с системами управления энергией дома. Эти системы позволяют пользователям получать комплексное представление о потреблении энергии, позволяя контролировать и управлять бытовыми приборами, устанавливая цели потребления энергии и получать уведомления в режиме реального времени. Такая интеграция позволяет потребителям активно управлять и оптимизировать свое потребление энергии, способствуя сохранению энергии и устойчивому развитию.

Заключение

Введение умных счетчиков привело к преобразованию области учета электроэнергии, предлагая ряд преимуществ, как потребителям, так и утилитарным компаниям. Повышенная точность, мониторинг в режиме реального времени, доступность данных, анализ энергопотребления и возможность интеграции, делают умные счетчики ценным инструментом для управления и оптимизации потребления электроэнергии.

С развитием технологии умных счетчиков в ближайшем будущем ожидается, что управление потреблением электроэнергией станет более персонализированным, эффективным и осознанным с точки зрения энергоэффективности.

Литература

1. Воротницкий В.Э., Комкова Е.В., Туркина О.В., Апрыткин В.Н. Методы и средства выявления безучетного потребления электрической энергии при наличии приборов учета. Москва, 2005 – С. 19 - 22
2. Микропроцессорные счетчики электроэнергии, Лебедев В.И., 2017 – С. 155-160
3. Пособие «Схемы включения счетчиков электрической энергии. Практическое пособие» Москва «Издательство НЦ ЭНАС» 2006 – С. 78-84

Сведения об авторах

М.Д. Давлатов – студент 4-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Бранцевич П.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь

E-mail: branc@bsuir.edu.by

Аннотация: *Состояние наблюдаемых технических или природных объектов определяется параметрами и характеристиками. Целью работы является разработка модели базового элемента системы принятия решений и рассмотрение вариантов его практического применения. Предложенная модель базового элемента системы принятия решений позволяет создавать различные структуры, предназначенные для оценки состояния сложных технических и природных объектов. Представлен пример реализации системы принятия решений по оценке состояния многоопорного энергетического агрегата, как комбинации базовых решающих модулей.*

Ключевые слова: состояние, вибрация, параметр, характеристика, модель, система, решение.

MODEL OF A DECISION MAKING SYSTEM FOR ASSESSING THE CONDITION OF TECHNICAL AND NATURAL OBJECTS

Annotation: *The state of the observed technical or natural objects is determined by the parameters and characteristics. The aim of the work is to develop a model of the basic element of the decision-making system and consider options for its practical application. The proposed model of the basic element of the decision-making system allows you to create various structures designed to assess the state of complex technical and natural objects. An example of the implementation of a decision-making system for assessing the state of a multi-support power unit is presented as a combination of basic decision modules.*

Keywords: *condition, vibration, parameter, characteristic, model, system, solution.*

В производственных процессах расходы, направляемые на обеспечение работоспособности производственного оборудования, составляют значительную часть от эксплуатационных затрат. Считается, что наиболее изнашиваемым является оборудование с вращательным движением (турбины, генераторы, двигатели, редукторы, насосы, компрессоры, вентиляторы и т.д.). Снизить затраты на его эксплуатацию можно путем внедрения современных систем технического обслуживания, которые базируются на использовании

технологий мониторинга, оценки состояния, диагностики, прогнозирования развития дефектов, которые с точки зрения их организации и функционирования являются интеллектуальными системами [1].

Состояние производственного оборудования характеризуется многими параметрами основных и вторичных процессов, развивающихся при его работе. Для контроля целесообразно выбирать те, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их измерение. В этом плане, для механизмов с вращательным движением, такими являются параметры вибрации. На основе анализа вибрационного состояния группы однотипных механизмов при их функционировании на различных режимах, в различном техническом состоянии и на протяжении длительного времени могут быть обоснованы и сформулированы диагностические признаки для локализации мест и причин повышения вибрации. Это создает условия для построения автоматизированных интеллектуальных систем оценки технического состояния и диагностики, значительно облегчающих работу инженерно-технического персонала [2].

Модель базового элемента системы принятия решений

Состояние наблюдаемого технического или природного объекта описывается параметрами и характеристиками.

Параметр – это величина, значения которой служат для различения элементов некоторого множества между собой; величина, постоянная в пределах данного явления или задачи, но при переходе к другому явлению или задаче обладающая возможностью изменить своё значение. Иногда параметрами называют также величины, очень медленно изменяющиеся по сравнению с другими величинами (переменными). Параметр – свойство (показатель) объекта или системы, которое можно измерить. Результатом измерения параметра системы является число или величина. Примерами параметров вибрации являются: среднее квадратическое значение (СКЗ) виброускорения (виброскорости), размах колебаний, амплитуда колебаний на определенной частоте, вычисляемые путем обработки вибрационного сигнала.

Характеристика в технике – есть графическое, или табличное выражение зависимости одного параметра от другого. А также функция, выражающая или описывающая эту зависимость. Например, характеристикой объекта является амплитудный спектр вибрационного сигнала, возбуждаемого на корпусе подшипниковой опоры.

Чтобы выполнять оценку состояния наблюдаемого объекта, требуется некая система принятия решений или поддержки принятия решений.

Предлагается следующая модель базового решающего элемента системы принятия решений по оценке состояния наблюдаемого объекта или выработке рекомендаций по воздействию на данный объект.

Входными данными базового элемента являются:

x_i – значение параметра i , $i=1..N$.

$\omega_j(y_{j,1}, \dots, y_{j,k})$ – характеристика j при дискретных значениях аргумента y_j , $j = 1..M$;

$\omega_j(y_j(t))$ – характеристика j при непрерывном значении аргумента y_j , $j = 1..M$.

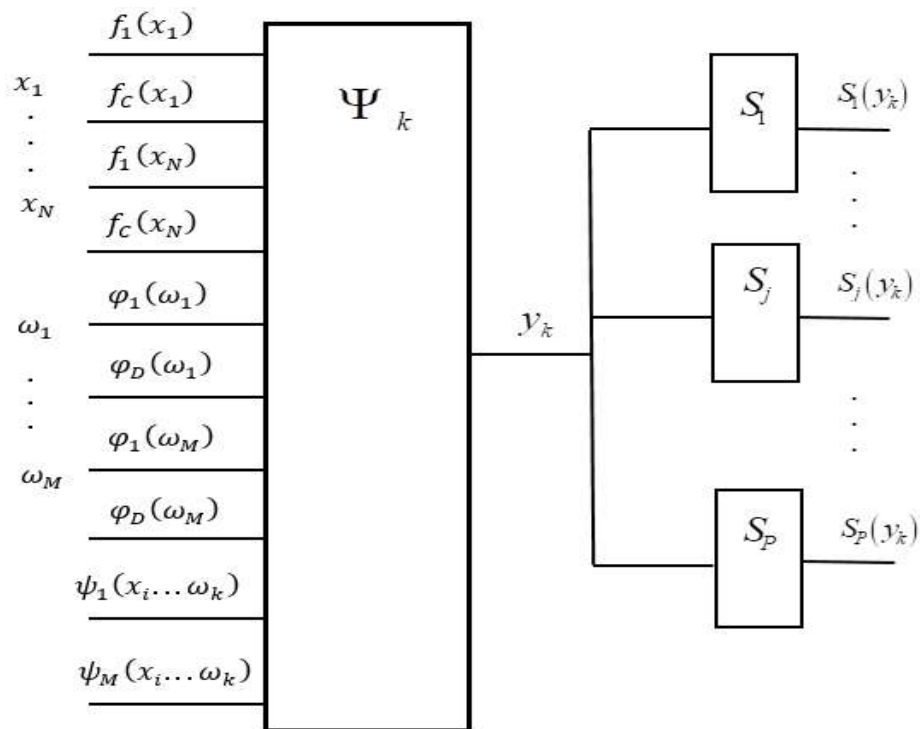


Рис.1 – Модель базового элемента принятия решений по оценке состояния наблюдаемого объекта

По отношению к входным исходным параметрам и характеристикам применяются функции первичной обработки:

$$f_l(x_i), l = 1..B; \quad \varphi_m(\omega_j), m = 1..C.$$

Причем разные функции f_l могут применяться по отношению к одному и тому же параметру x_i , а различные функции φ_m , – к одному и тому же значению характеристики ω_j .

Используются и комплексные многопараметрические и многохарактеристические функции:

$$\psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p), n = 1..D; \quad i, j, k \in 1..N; \quad l, m, p \in 1..M.$$

По отношению к набору функций:

$f_l(x_i), \varphi_m(\omega_j), \psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p)$ применяются

обобщающие функции:

$y_k = \Psi_k [f_l(x_i), l=1..B; \varphi_m(\omega_j), m=1..C; \psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p), n=1..D];$
 $k=1..L.$

И уже по отношению к y_k применяются разнообразные решающие функции $S_\eta(y_k), \eta = 1..P.$

Результат функции $S_\eta(y_k)$ определяет одно из возможных состояний анализируемого объекта, тип самого объекта, принимаемое решение. На рисунке 1 данная модель представлена в графическом виде.

Принятие решения о защитном отключении турбоагрегата по параметрам вибрации

Наиболее важной задачей современных систем вибрационного контроля и диагностики является предотвращение аварийного повреждения защищаемого объекта при внезапном возникновении неисправностей или механических повреждений в его узлах или при существенном отклонении каких-либо технологических параметров от номинальных. Однако факт возникновения ситуации, требующей останова технического объекта, во многих случаях имеет неоднозначное отображение в параметры вибрации.

Системы вибрационного контроля и защиты, построенные на базе компьютерной техники, позволяют реализовать разнообразные и сложные алгоритмы защиты, ориентированные на конкретные типы дефектов и аварийных ситуаций. Это, в свою очередь, позволяет избежать необоснованных («ложная тревога») срабатываний защитного отключения и не допустить «пропуска дефекта». Реализован и прошел апробацию на ряде турбоагрегатов алгоритм защитного отключения по вибрации, в котором учитывается несколько факторов.

1. Фактор низкочастотной составляющей вибрации.

Под низкочастотной вибрацией (НЧВ) понимается среднее квадратическое значение виброскорости (СКЗ) в зоне частоты, равной половине оборотной. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если для любой подшипниковой опоры турбоагрегата возникла следующая ситуация: СКЗ виброскорости НЧВ, измеренное для вертикального направления и для поперечно-горизонтального направления любой подшипниковой опоры, на протяжении 4-6 секунд превышает v мм/с и, при этом, хотя бы для одного из этих направлений, оно на протяжении этого же

времени превышает $3v$ мм/с. Уровень v определяется типом и рабочими частотами механизма.

2. Фактор оборотной составляющей вибрации.

Под оборотной составляющей вибрации понимается СКЗ виброскорости спектральной составляющей с частотой, равной частоте вращения вала (ротора) агрегата.

2.1. Величина СКЗ оборотной составляющей.

2.2. Вектор приращения оборотной составляющей.

Для каждой подшипниковой опоры и каждого из направлений измерения вибрации устанавливается значение вектора приращения оборотной составляющей, соответствующее аварийному уровню. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если в четырех или более точках измерений вектор приращения оборотной составляющей превысил заданный, для соответствующей точки измерений, аварийный уровень.

3.3. Фактор высокочастотной составляющей вибрации.

Под высокочастотной составляющей вибрации (ВЧВ) понимается СКЗ виброскорости в частотной полосе, нижняя граница которой равна двойной оборотной частоте, а верхняя – верхней границе частотного диапазона, в котором производится вибрационный контроль наблюдаемого механизма.

Сигнал на защитное отключение контролируемого механизма вырабатывается в том случае, если он выработан по одному из указанных критериев, или по нескольким критериям одновременно [2].

Для реализации данной системы принятия решения о защитном отключении в качестве входных данных применяется характеристика:

$П_j(x_0, \dots, x_{N-1}), j=1..M$ – временная реализация вибросигнала;

M – число точек контроля для наблюдаемого турбоагрегата. Для каждой подшипниковой опоры контроль вибрации осуществляется в трех точках-направлениях: вертикальном, горизонтальном, осевом;

τ – дискретное время, определяющее периодичность получения исходных вибрационных сигналов.

Функция $\varphi_{1,j,\Delta}[П_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j=1..M$; $\Delta=1,2,\dots$ предназначена для вычисления СКЗ оборотной составляющей вибрации $A_{CCV,j}$.

Функция $\varphi_{2,j,\Delta}[П_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j=1..M$; $\Delta=1,2,\dots$ предназначена для вычисления фазы оборотной составляющей вибрации $\Phi_{CCV,j}$.

Функция $\varphi_{3,j,\Delta}[П_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j=1..M$; $\Delta=1,2,\dots$ предназначена для вычисления СКЗ НЧВ.

Функция $\varphi_{4,j,\Delta}[Tl_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j=1..M$; $\Delta=1,2,\dots$ предназначена для вычисления СКЗ ВЧВ.

Функция $f_{1,j,\Delta}(A_{CCV,j}, \Phi_{CCV,j}, \tau_{\Delta-1}, \tau_\Delta)$, $j=1..M$; $\Delta=1,2,\dots$ предназначена для вычисления вектора приращения оборотной составляющей.

Обобщающие функции первого уровня имеют вид:

$$y_{1,\Delta} = \Psi_{1,1,\Delta}[\varphi_{3,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j=1..M; \Delta=1,2,\dots];$$

$$y_{2,\Delta} = \Psi_{1,2,\Delta}[\varphi_{2,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j=1..M; \Delta=1,2,\dots];$$

$$y_{3,\Delta} = \Psi_{1,3,\Delta}[f_{1,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j=1..M; \Delta=1,2,\dots];$$

$$y_{4,\Delta} = \Psi_{1,4,\Delta}[\varphi_{4,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j=1..M; \Delta=1,2,\dots].$$

Результатом каждой из обобщающих функций первого уровня $\Psi_{1,k,\Delta}(\)$, $k=1..4$ является $y_{k,\Delta}$, которое принимает два значения: ноль или единица. $y_{k,\Delta}$ являются входными параметрами $x_{k,\Delta}$ для обобщающей функции второго уровня:

$$z_\Delta = \Psi_{2,\Delta}(x_{1,\Delta} = y_{1,\Delta}, x_{2,\Delta} = y_{2,\Delta}, x_{3,\Delta} = y_{3,\Delta}, x_{4,\Delta} = y_{4,\Delta}).$$

Результат обобщающей функции второго уровня z_Δ . Значение $z_\Delta=1$ соответствует решению о срабатывании защитного отключения. Значение $z_\Delta=0$ соответствует нормальному режиму эксплуатации контролируемого объекта.

Заключение

Предложенная модель базового элемента системы принятия решений позволяет конфигурировать различные структуры, предназначенные для оценки состояния сложных технических и природных объектов. Представлен пример реализации системы принятия решений по оценке состояния многоопорного энергетического агрегата, как комбинации базовых решающих модулей, которая программно реализована и введена в промышленную эксплуатацию.

Литература

1. Неразрушающий контроль: справочник. Том 7. Книга 2. Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Бранцевич П.Ю. Компьютерные системы и комплексы обработки вибрационных сигналов. – Минск: Бестпринт, 2023. – 282 с.

Сведения об авторе

Бранцевич П.Ю. – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник НИЛ Технической диагностики НИЧ БГУИР.

ВЛИЯНИЯ РАЗНОВРЕМЕННОСТИ КОММУТАЦИИ СИЛОВЫХ КОНТАКТОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОНТАКТОРОВ И ПУСКАТЕЛЕЙ НА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Суворов И.Ф., Ежиков Т.В., Серезин К.С.

ФГБОУ ВО «ЗабГУ», г. Чита

E-mail: ezhtikov@mail.ru, ivan.suvorov.1947@mail.ru

Аннотация: В данной работе рассматривается вопрос о перенапряжениях, вызываемых разновременностью контактов коммутационных аппаратов и контактных систем до 1000 В.

Ключевые слова: разновременность контактов, переходные сопротивления, перенапряжения в сетях до 1000 В.

INFLUENCE OF DIFFERENCE IN SWITCHING POWER CONTACTS OF CIRCUIT BREAKERS, ELECTROMAGNETIC CONTACTORS AND CONTACTORS ON OVERVOLTAGE IN LOW-VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS

Annotation: This paper considers the issue of overvoltages caused by the timing of contacts of switching devices and contact systems up to 1000 V.

Keywords: contact timing, transient resistances, overvoltages in networks up to 1000 V.

Важнейшим элементом любого электрооборудования и любой линии является подходы к организации защиты от перенапряжений. Последние годы в сетях и электроустановках в целом появилось много инновационных изменений. В классе напряжения до 1000 В при разработках и проектировании все больше ставятся не только проблемы безопасности и электромагнитной совместимости, но и задачи повышения эффективности, что приводит к необходимости принять дополнительные меры для защиты от перенапряжений и обеспечения безопасности [1, 3].

В зависимости от причины “генерирования” различают две группы перенапряжений: внешние, которые возникают при ударах молнии и воздействиях других, внешних по отношению к рассматриваемой сети источников энергии, и внутренние, которые развиваются за счет энергии подключенных к сети генераторов или реактивных элементов (L, C), а также вследствие различных резонансных процессов, аварий и коммутаций элементов сети, в том числе и повторных зажиганий электрической дуги.

В зависимости от места приложения можно выделить различные виды перенапряжений: фазные, междуфазные, внутрифазные, между контактами.

Фазные перенапряжения. Они действуют на изоляцию токоведущих частей электрооборудования от земли или заземленных конструкций. К этой изоляции в нормальном режиме работы приложено фазное напряжение.

Междуфазные перенапряжения рассматриваются при выборе междуфазной изоляции, например, расстояний между проводами разных фаз на линиях и подстанциях, обмотками различных фаз трансформаторов, машин, реакторов.

Внутрифазные перенапряжения возникают между различными токоведущими элементами одной и той же фазы.

Перенапряжения между контактами коммутирующих аппаратов возникают в процессе отключения участка сети или при несинхронной работе двух участков сети.

В данной работе особое внимание занимают перенапряжения возникающие при размыкании контактов коммутационных аппаратов, таких как: -контакторы; - автоматические выключатели; - магнитные пускатели.

На сегодняшний день проблема рассматриваемого вопроса является очень актуальной и востребованной по следующим причинам: 1) при эксплуатации электрических сетей до 1000 В отмечаются трехфазные короткие замыкания между питающими фазными зажимами вакуумных контакторов на угольных котельных и тепловых электрических станциях [3]; 2) основная причина указанных коротких замыканий – возникновение перенапряжений при коммутации силовой электрической сети и отсутствие нормирования величины перенапряжений в электрических сетях до 1000 В [2]; 3) отсутствие нормирования допустимого времени разновременности размыкания контактов низковольтных коммутационных аппаратов как электромагнитных, так и вакуумных. Проведя литературный обзор и патентный анализ, были сделаны выводы, что по влиянию разновременности размыкания контактов на величину перенапряжения как в системах электроснабжения, так и в электротехнических комплексах промышленных предприятий до 1000 В информации практически нет. Так, в действующем стандарте по перенапряжениям в низковольтных сетях, материал по перенапряжению не охватывает проблему влияния разновременности контактов на скачки перенапряжений [2].

В своей диссертационной работе [3] канд. техн. наук А.В. Портнягин рассмотрел и доказал влияние хода контактов электромагнитных коммутационных аппаратов на уровни перенапряжений в сетях до 1000 В с глухозаземленной нейтралью силовых трансформаторов. Ученый выявил, что

для высоковольтной аппаратуры существуют нормы разновременности размыкания и замыкания контактов, а для низковольтной аппаратуры нормы не установлены. Более того, он определил зависимости коэффициента перенапряжений от комбинации расхождения контактов для высоковольтных выключателей и установил соответствующие разновременности для снижения коммутационных перенапряжений.

Поэтому важнейшей задачей для повышения надежности систем электроснабжения электротехнических комплексов и управления ими, а также снижения электротравматизма и пожаров, целесообразно продолжить изучение разновременности контактов коммутационной аппаратуры в низковольтных сетях и разработать систему автоматической диагностики технического состояния силовых контактов низковольтной коммутационной аппаратуры – автоматических выключателей и электромагнитных контакторов и магнитных пускателей без отключения силовой электрической сети.

Для дальнейшего изучения данной проблемы необходимо чётко выделить цели и задачи.

Объектом исследования являются перенапряжения в сетях до 1000 В, а его предметом – разновременность размыкания и замыкания контактов, а также их переходные сопротивления.

Цель работы: исследовать влияние переходных сопротивлений коммутационной аппаратуры и разновременности размыкания их силовых контактов в электрических сетях как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью силовых питающих трансформаторов.

Задачи:

- составить математическую модель «эл.сеть – коммутационный аппарат – асинхронный двигатель»;
- изготовить стенд по исследованию разновременности размыкания контактов и замеру переходных сопротивлений;
- определить нормы разновременности контактов коммутационной аппаратуры;
- произвести замеры переходных сопротивлений, вызываемых разновременностью контактов;
- разработать аппаратно-программный комплекс (АПК) диагностики технического состояния контактных систем и коммутационных аппаратов до 1 кВ без разборки силовой электрической сети, т.е. под рабочим напряжением.

Заключение

Изложенная актуальность и научные труды в данной статье, помогут в дальнейшем изучении вопроса о влиянии разновременности контактов на

перенапряжения в сетях до 1 кВ. Поставленные цели и задачи, также необходимы при исследовании проблемы. Более того, разработка АПК существенно внесет свой вклад для диагностики технического состояния контактных систем, а предполагаемая зависимость разновременности контактов и перенапряжений будет являться научной новизной работы, так как исследования в низковольтных сетях такого рода еще не проводились.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №123102000012-2 «Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива, соглашение №075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г.»)

Литература

1. Халилов Ф.Х., Классификация перенапряжений. Внутренние перенапряжения: учебное пособие / Ф.Х. Халилов. – Санкт-Петербург: Издание НОУ «Центра подготовки кадров энергетики», 2012. – 80 с.
2. ГОСТ Р 55630-2013/IEC/TR 62066:2002. Перенапряжения импульсные и защита от перенапряжений в низковольтных системах переменного тока – Введ.2015.01.01 - М.: Изд-во стандартов, 2015. – 102 с.
3. Портнягин А.В. Повышение надежности систем электроснабжения с электродвигательной нагрузкой 0,4 кв при внешних воздействиях: Дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / А.В. Портнягин. – Иркутск, 2007. – 171 с.

Сведения об авторах:

Ежиков Т.В. – аспирант 1 курса, научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, кафедры Энергетики ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

Суворов И.Ф. – научный руководитель, д.т.н., профессор, профессор кафедры Энергетики ФГБОУ ВО «ЗабГУ».

Сережин К.С. – доцент кафедры Энергетики ФГБОУ ВО «ЗабГУ», канд. техн. наук

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ВЫБЕГА

Забелин В. О., Суворов И. Ф., Иванов А.А., Серезжин К.С.
(кафедра энергетики ЭФ ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный
университет» г.Чита, Забайкальский край, РФ)
e-mail: s89148025956@yandex.ru

Аннотация: В работе представлена общая информация по разработке устройства для диагностирования асинхронных двигателей до 5 кВт по напряжению выбега. Описаны основные технические характеристики устройства, составные части компонентов, а также описана методика проведения измерений, по которым производится диагностика асинхронного электродвигателя (АЭД). Работа соответствует паспорту специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, диагностика, напряжение выбега, ряды Фурье, устройство для диагностирования асинхронного двигателя

DEVICE FOR DIAGNOSING AN INDUCTION ELECTRIC MOTOR BY CAST-OFF VOLTAGE

Abstract: The paper presents general information on the development of a device for diagnosing asynchronous motors up to 5 kW in terms of run-out voltage. The main technical characteristics of the device, the components of the components are described, as well as the method of measurement, according to which the diagnosis of ED is performed. The work corresponds to the passport of the specialty 2.4.2 electrotechnical complexes and systems.

Keywords: asynchronous motor, diagnostics, run-out voltage, Fourier series, a device for diagnosing an AC motor

Электропривод на основе применения асинхронного электродвигателя (АЭД) является преобладающим во всех отраслях производства и жизнедеятельности современного человека. При эксплуатации асинхронного электродвигателя остро встает вопрос технического диагностирования как АЭД, так и рабочей машины.

Цель работы – создание устройства для диагностирования асинхронного электродвигателя по спектру напряжения и тока, в том числе по напряжению выбега. Проводится описание компонентов прототипа устройства и краткий алгоритм его работы.

С ростом выпускаемых АЭД (к примеру, объем производства по итогам 2022 года вырос на 9,5 % по сравнению с показателями 2021 года и составил 1475,8 тыс. штук.) растёт и количество двигателей, которым требуется обслуживание и ремонт.

Большинство способов, на которых построены приборы, требуют отсоединения электродвигателя от рабочей машины, либо требуют подключения большого количества датчиков для точного диагностирования. Практически все методы, так или иначе, требуют отключения двигателя от рабочей машины, что в общем занимает большое количество человеко-часов, либо требуют высокой квалификации специалиста, проводящего диагностику [1, 2, 3].

Примером такого устройства и метода является VALTECH VP-3470 - универсальный виброанализатор для вибродиагностики и балансировки, требующего от специалиста знаний в области диагностирования оборудования по спектру и огибающим спектра вибрации согласно ГОСТ ИСО 10816 (2...200, 2...1000, 10...1000, 10...2000).

На данный момент выделяют следующие виды определения технического состояния АЭД:

- 1) корпусная и межфазная изоляции обмоток;
- 2) межвитковая изоляция обмоток;
- 3) подшипники;
- 4) короткозамкнутая обмотка ротора;
- 5) центровка электродвигателя с рабочей машиной или механизмом.

Обособленно выделяются методы, основанные на анализе электрических параметров машины, в частности метод, основанный на спектральном анализе обобщенного вектора напряжения выбега электродвигателя [4].

На основе анализа существующих методов диагностирования подшипников предлагается следующая методика определения технического состояния подшипников в асинхронных двигателях.

При вращении вала АЭД по инерции сразу после отключения его от питающей электрической сети электрическая машина на короткое время переходит в режим асинхронного электрогенератора за счет остаточного магнитного потока статора АЭД и накопленной емкости ответвления электрической сети между АЭД и подвижными контактами коммутационного аппарата. При этом АЭД переходит в генераторный режим с изолированной нейтралью. Если в этот момент дополнительно измерять напряжение, формируемое на обмотках, то можно получить осциллограмму напряжения выбега. Затем, сравнивая полученные значения со значениями, измеренными на

исправном электродвигателе, можно сделать вывод о наличии неисправностей в работе АЭД и даже рабочей машины, например, насоса. В свою очередь, для каждого вида повреждения подшипника, осциллограмма напряжения выбега электрической машины будет иметь свои характерные особенности, позволяющие диагностировать вид повреждения подшипника с определенной вероятностью.

Например, при повреждении или износе подшипников должно наблюдаться несимметричное амплитудное и частотное изменение тока и напряжения из-за изменения воздушного зазора в магнитной системе асинхронного электродвигателя как в режиме подключенного электродвигателя к сети, так и в режиме напряжения выбега после отключения от питающей электрической сети. Это обусловлено увеличившимся радиальным смещением ротора относительно статора [5]. Указанные изменения явно проявятся на осциллограмме напряжения выбега, так как будут исключены искажения синусоиды напряжения, вызванные помехами низким качеством электрической энергии питающей сети.

Взяв за основу данный метод, предлагается разработка аппаратно-программного комплекса диагностики подшипниковых узлов асинхронного электродвигателя, электрическая схема которого представлена на рисунке 1.

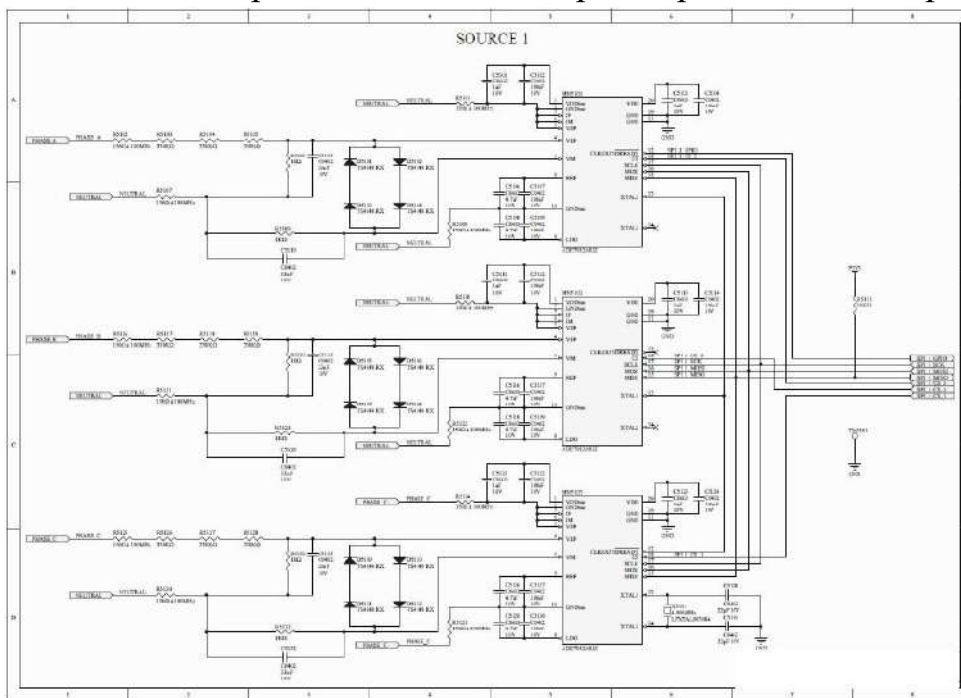


Рис. 1. Электрическая схема аппаратно-программного комплекса

Логика работы устройства заключается в следующем:

- 1) подключаем устройство щупами к тестируемому асинхронному электродвигателю и в настройках задаём наименование двигателя;

- 2) включаем электродвигатель и переводим его в номинальный режим работы, о чем нас уведомит устройство;
- 3) отключаем электродвигатель от питающей его электросети и снимаем показания напряжения выбега.
- 4) раскладываем сигнал, полученный от двигателя, в ряды Фурье и применяем к ним различные фильтры;
- 5) выдача результата о состоянии подшипников по шкале: требует замены, имеются дефекты, полностью исправен.

Для точного измерения амплитуды выбран АЦП для многофазных измерений энергии ADE7912ARIZ. Он имеет разрешение 24 бита, которое способно выявить требуемые амплитуды осциллограммы. Данный АЦП имеет интерфейс данных SPI, что позволит организовать сбор показания со всех трёх фаз асинхронного электродвигателя.

Для защиты АЦП от высоких напряжений предусмотрен делитель напряжения, собранный на базе резисторов номиналом 10 кОм и 1 Мом, и диодный мост, что позволит считывать высокие напряжения до 1000 Вольт без ущерба логической части устройства.

В качестве компонента, задающего частоту считывания, используется кварцевый резонатор частотой 8000МГц. Данный резонатор подключен к третьему чипу ADE7912ARIZ и передаёт частоту на два оставшихся для синхронного считывания данных.

Для считывания данных используется интерфейс данных SPI, который позволит параллельно передавать данные со всех трёх АЦП для достижения наибольшей точности.

В качестве обрабатывающего устройства выбран RaspberryPI 4 Model B. Частота процессора позволит с максимальной точностью и без потери данных считывать показания с АЦП. Устройство Raspberry позволяет запоминать данные на SD-накопителе для дальнейшего анализа и вывода данных на LCD-экране.

Для удобства подключения устройства к тестируемому асинхронному двигателю было принято решение о выводе в корпусе устройства специальных шлейфов для подключения щупов. Корпус, разработанный в программе КОМПАС 3D, изготовлен на 3D-принтере что позволит с легкостью внести изменения в конструкцию. Пластик выбран PLA bronze с 50% содержание бронзы для уменьшения наводок и защиты компонентов.

Прототип комплекса представлен на рисунке 2.

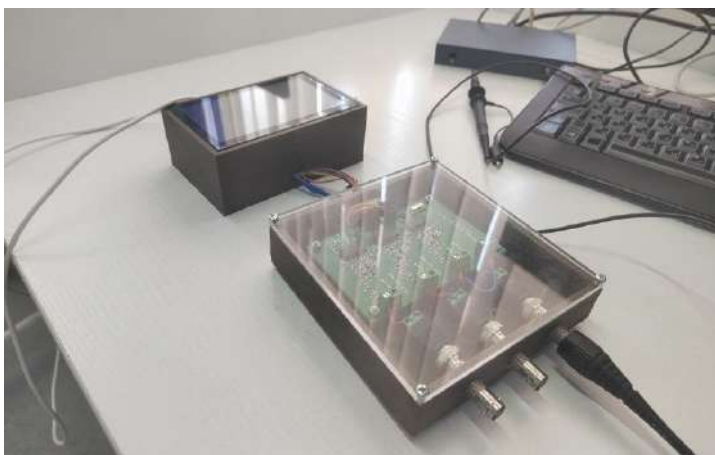
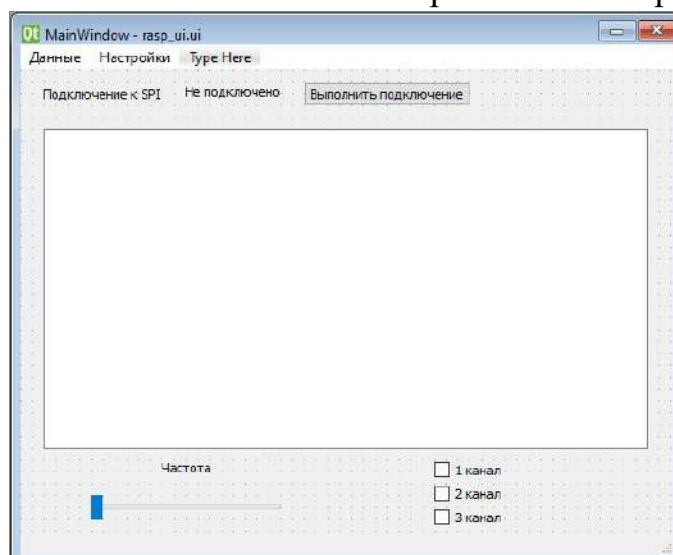


Рис. 2. Экспериментальная модель

Элементная база состоит из компонентов, описанных выше.

Рис. 3. Интерфейс программы

Программа включает в себя специальный пакет для работы с выводами GPIO – `winingpi.deb`, библиотеки `numpy` и `scipy` для анализа осциллограммы и разложения в ряды Фурье, применение на сигнал различных фильтров (прямоугольный фильтр, окна Блэкмана), а также модуля `PyQT` для графического отображения данных. В графическом интерфейсе возможно настроить временную выборку осциллограммы по времени, считываемые каналы. В дальнейшем предполагается написание нейросети для более точного измерения технического состояния асинхронного электродвигателя и передачи



показаний на сервер.

Заключение

На данный момент при помощи устройства проводятся эксперименты для измерения напряжений и токов, производится сравнительный анализ показаний

состояния асинхронного двигателя по сравнению с вибродиагностикой для усовершенствования метода диагностирования.

По данной работе получено свидетельство о государственной программе ЭВМ № 2023669592 от 18 сентября 2023 года «Программа для диагностирования асинхронного электродвигателя по спектру напряжения выбега».

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 123102000012-2 «Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива, соглашение № 075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г.)»

Литература

1. Henaо, H. // Trends in fault diagnosis for electrical machines / H. Henaо, G-A. Capolino, M. Fernandez-Cabanas, F. Filippetti, C. Bruzzese, S. Elias, R. Pusca, J. Estima, M. Riera-Guasp, S. Hedayati-Kia // IEEE Industrial Electronics Magazine. – 2014. – № 8. – Iss. 2. – pp. 31-42.
2. Геллер, Б. Высшие гармоники в асинхронных машинах / Б. Геллер, В. Гамата. Пер. с англ. под ред. З.Г. Каганова. – М.: Энергия, 1981. – 352 с.
3. Марков В.В. Электрорезистивный метод и средства диагностирования подшипников качения: Дис. канд. техн. наук: 05.02.11 Марков Владимир Владимирович: Орел, 2004 234 с. РГБ ОД, 61:04- 5/4080
4. Сафин Н.Р. Диагностика неисправностей асинхронных электродвигателей на основе спектрального анализа токов статора. Энергобезопасность и энергосбережение, Екатеринбург, УрФУ, 2014. – 34 с

Сведения об авторах

Забелин В. О. - аспирант 4 курса Эта-20 кафедры энергетики, старший преподаватель кафедры информатики вычислительной техники и прикладной математики ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»

Суворов И. Ф. - доктор технических наук, **профессор**, профессор кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»

Иванов А.А. - аспирант 4 курса Эта-20 кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»

Сережин К. С. - кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕГУЩИХ ВОЛН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Лачугин В.Ф., Ятимов И.М.
НИУ «МЭИ»

***Аннотация.** Развитие электроэнергетических систем обуславливает повышенные требования к релейной защите линий электропередачи по чувствительности, быстродействию и надежности функционирования при всех видах коротких замыканий. Удовлетворение этих требований достигается за счет контроля более полной информации о повреждениях на ЛЭП, фиксируемых в устройствах релейной защиты, реализующих разный принцип действия (дистанционный, с высокочастотным каналом связи, токовый направленный). Рассмотрен принцип действия защиты, связанный с контролем электромагнитных волн, возникающих в момент короткого замыкания, основанный на использовании уравнений распространения бегущих волн при их представлении в виде прямой и обратной волн с применением преобразования Кларк.*

***Ключевые слова:** бегущие волны, устройства релейной защиты линий электропередачи, короткие замыкания, волновые методы, преобразование Кларк.*

Постоянное совершенствование релейной защиты (РЗ) является важным направлением в обеспечении надежности энергосистем (ЭЭС). В настоящее время принципы устройств защиты различных электроэнергетических объектов (ЭЭО) от коротких замыканий (КЗ) основаны на контроле токов и напряжений промышленной частоты. Повышение сложности электрических сетей, увеличение протяженности воздушных линий (ВЛ) электропередачи и передаваемой по ним мощности, а также применение сверхвысоких напряжений (СВН) предъявляют более высокие требования к обеспечению эффективности функционирования устройств РЗ. Резкие изменения режимов работы современных ЭЭС ведут к увеличению диапазона колебаний электрических величин. При этом уровни минимальных токов и напряжений требуют выполнения измерительных органов защиты с повышенной чувствительностью, а обеспечение необходимых запасов динамической устойчивости ЭЭС требует повышения быстродействия РЗ. Однако быстродействие устройств, реагирующих на установившиеся параметры напряжения и тока ЭЭС, осуществляется в несколько периодов промышленной

частоты и поэтому не всегда способно удовлетворить предъявляемым требованиям [1 - 4].

Кроме того, обеспечение высокой чувствительности затруднено по условиям отстройки от различного рода небалансов нормального режима, а также от длительно затухающих переходных процессов с широким спектром частот. При этом фильтрация высокочастотных составляющих приводит к ограничению быстродействия [2-4]. Возможное применение на этих линиях электропередачи (ЛЭП) СВН продольной емкостной компенсации изменяет характер входного реактивного сопротивления, что может привести к фазовым искажениям сигналов в измерительных органах защиты, реагирующих на электрические величины промышленной частоты [2,4].

Изложенные проблемы определили необходимость создания устройств защиты, обладающих повышенным быстродействием и чувствительностью, в частности, защит, реагирующих на токи и напряжения волновой стадии электромагнитных переходных процессов. Разработка устройств защиты, действие которых основано на использовании высокочастотных составляющих переходного процесса, является весьма актуальным. Предлагаются алгоритмы РЗ с контролем прямых и обратных волн [5,6], которые распространяются по линиям передачи со скоростью, близкой скорости света, а также применения преобразования Кларк.

Метод определения поврежденной ЛЭП заключается в использовании данных о напряжении и токе, измеренных в одной или нескольких точках электрической сети. Разработанная методика включает расчет скорости распространения бегущих волн и их частотных составляющих, определение токов и напряжений прямых и обратных бегущих волн для распознавания поврежденного участка сети. При этом необходимо выявление характерных особенностей изменения контролируемых величин при переходном процессе с учетом изменения расстояния до места КЗ и электрической схемы сети.

Представим дифференциальные уравнения, которым удовлетворяют напряжения и токи в любом сечении двухпроводной линии. Условимся называть верхний провод (рис.1) этой линии прямым, а нижний - обратным. Положительные направления тока и напряжения выберем в соответствии с рис.1.

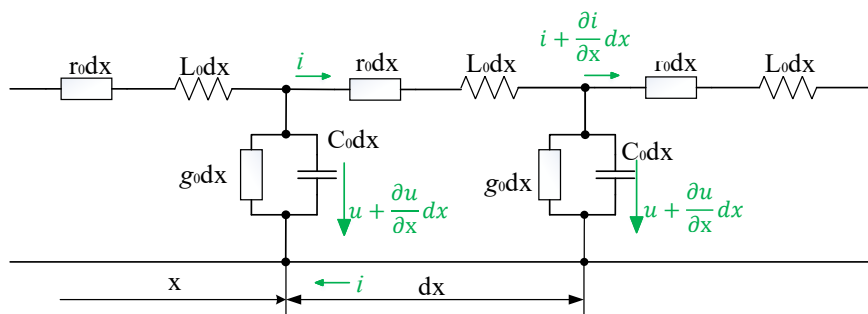


Рис. 1 Принципиальная схема двухпроводной линии

Длинную линию можно представить в виде множества последовательно соединенных бесконечно малых элементов длиной dx , каждый из которых имеет сопротивление $r_0 dx$, индуктивность $L_0 dx$ проводимость $g_0 dx$ и емкость $C_0 dx$. Сопротивление $r_0 dx$ и индуктивность $L_0 dx$ будем считать включенными в один провод [4,5]. Обозначим через x расстояние от начала линии до одного из ее элементов. Мгновенные значения напряжения и тока в начале выбранного элемента линии dx обозначим через u и i , а в начале следующего через

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \text{ и } i + \frac{\partial i}{\partial x} dx.$$

Для элемента линии длиной dx на основании законов Кирхгофа

$$u - \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) = r_0 dx i + L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t},$$

$$i - \left(i + \frac{\partial i}{\partial x} dx \right) = \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) g_0 dx + C_0 dx \frac{\partial}{\partial t} \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right).$$

Пренебрегая величинами второго порядка малости, получаем дифференциальные уравнения

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = r_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \quad (1)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = g_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t}.$$

Эти уравнения справедливы при любых изменениях тока и напряжения во времени. Решение полученной системы уравнений в частных производных при определенных начальных и граничных условиях дает возможность определить ток и напряжение как функции расстояния от начала линии и времени.

Представим уравнения (1) для определенной частоты переходного процесса

$$-\frac{dU}{dx} = (r_0 + j\omega L_0)I = \underline{Z}_0 I, \quad (2)$$

$$-\frac{dI}{dx} = (g_0 + j\omega C_0)U = \underline{Y}_0 U,$$

где \underline{Z}_0 и \underline{Y}_0 – погонные сопротивление и проводимость линии.

Продифференцируем уравнения (2)

$$\begin{aligned} -\frac{d^2 \underline{U}}{dx^2} &= \underline{Z}_0 \frac{d \underline{I}}{dx}, \\ -\frac{d^2 \underline{I}}{dx^2} &= \underline{Y}_0 \frac{d \underline{U}}{dx} \end{aligned}$$

и заменим dI/dx и dU/dx согласно (2)

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \underline{U}}{dx^2} &= \underline{Z}_0 \underline{Y}_0 \underline{U}, \\ \frac{d^2 \underline{I}}{dx^2} &= \underline{Z}_0 \underline{Y}_0 \underline{I}. \end{aligned} \quad (3)$$

В результате решения уравнений (3) получим

$$\underline{U} = \underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} + \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x}, \quad (4)$$

где коэффициент распространения

$$\underline{\gamma} = \alpha + j\beta = \sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} = \sqrt{(r_0 + j\omega L_0)(g_0 + j\omega C_0)},$$

$\underline{A}_1, \underline{A}_2$ – комплексные постоянные интегрирования.

Продифференцируем уравнение (4)

$$\frac{d \underline{U}}{dx} = -\underline{A}_1 \underline{\gamma} e^{-\underline{\gamma}x} + \underline{A}_2 \underline{\gamma} e^{\underline{\gamma}x} = -\underline{Z}_0 \underline{I}$$

и получим ток

$$\underline{I} = \underline{\gamma}(\underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} - \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x}) / \underline{Z}_0 = \frac{\underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} - \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x}}{\sqrt{\underline{Z}_0 / \underline{Y}_0}}, \quad (5)$$

где $\underline{Z}_B = \sqrt{\underline{Z}_0 / \underline{Y}_0}$ – волновое сопротивление линии.

После ряда преобразований получим

$$\underline{U} = 0,5 (\underline{U} + \underline{I} \underline{Z}_B) e^{-\underline{\gamma}x} + 0,5 (\underline{U} - \underline{I} \underline{Z}_B) e^{\underline{\gamma}x}, \quad (6)$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} - \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x}}{\underline{Z}_B} = \frac{(\underline{U} + \underline{I} \underline{Z}_B) e^{-\underline{\gamma}x} - (\underline{U} - \underline{I} \underline{Z}_B) e^{\underline{\gamma}x}}{2 \underline{Z}_B} \quad (7)$$

Ток \underline{I} соответствует разности токов прямой и обратной волн. Положительное направление тока прямой волны выберем совпадающим с положительным направлением тока \underline{I} , а положительное направление тока обратной волны – противоположным положительному направлению тока.

В соответствии с этим [5,6]

$$\begin{aligned} \underline{U} &= \underline{U}_{\text{пр}} + \underline{U}_{\text{об}}, \\ \underline{I} &= \underline{I}_{\text{пр}} - \underline{I}_{\text{об}}. \end{aligned}$$

Используя преобразование Кларк, можно найти прямую и обратную бегущие волны, преобразованные в α, β и 0 составляющие.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Поскольку напряжение в любой точке линии представляет собой сложение прямой и обратной бегущих волн, то напряжение в любой точке трехфазной линии передачи

$$\begin{aligned} V_0 &= V_0^{\text{пр}}(x - v_0 t) + V_0^{\text{об}}(x + v_0 t), \\ V_\alpha &= V_\alpha^{\text{пр}}(x - v_1 t) + V_\alpha^{\text{об}}(x + v_1 t), \\ V_\beta &= V_\beta^{\text{пр}}(x - v_1 t) + V_\beta^{\text{об}}(x + v_1 t) \end{aligned}$$

и ток

$$\begin{aligned} I_0 &= I_0^{\text{пр}} - I_0^{\text{об}}, \\ I_\alpha &= I_\alpha^{\text{пр}} - I_\alpha^{\text{об}}, \\ I_\beta &= I_\beta^{\text{пр}} - I_\beta^{\text{об}}. \end{aligned}$$

Дискриминантные функции $d_{\text{пр}}$ и $d_{\text{об}}$ связаны с прямой и обратной волнами

$$\begin{aligned} d_{\text{пр}} &= V + ZI, \\ d_{\text{об}} &= V - ZI, \end{aligned}$$

где V и I - значения модульных напряжений и токов (0, α или β составляющие).

Прямая волна тока принимается положительной по знаку, в то время как обратная волна тока - отрицательной.

$$d_{\text{пр}} = V + ZI = (V_{\text{пр}} + V_{\text{об}}) + Z(I_{\text{пр}} - I_{\text{об}}) = (V_{\text{пр}} + ZI_{\text{пр}}) + (V_{\text{об}} - ZI_{\text{об}})$$

Отметим, что $d_{\text{пр}}$ и $d_{\text{об}}$ имеют практически нулевую величину в нормальном режиме энергосистемы.

Сравнивая соотношения $d_{\text{пр}}$ и $d_{\text{об}}$ по знаку можно определить направление к месту повреждения, а, следовательно, обеспечить селективность защиты, реагирующей на токи и напряжения волновой стадии электромагнитных переходных процессов.

Список литературы

1. Федосеев А. М. Релейная защита электроэнергетических систем М.: Энергия, 1976.
2. Попов И.Н., Лачугин В.Ф., Соколова Г.В. Релейная защита, основанная на контроле переходных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Козлов В. И. Некоторые особенности релейной защиты протяженных линий электропередачи сверхвысокого напряжения. М.: Энергия, 1976 (Тр. Института Энергосетьпроект) - С. 70—88.
4. Лачугин В.Ф. Релейная защита объектов электроэнергетических систем, основанная на использовании волновых методов. Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. М.: 2015.
5. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей. М.: Энергоатомиздат, 1989.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ РЗ

Сафронов Б.А., Иванов А.А., Маринов. Я.А., Малютин М.С.
Научный руководитель – к.т.н. Волошин А.А. (руководитель),
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
г. Москва, Россия
ivanovmpei@ya.ru

Аннотация: В работе представлен алгоритм расчета параметров надежности электрической схемы магистральной электрической сети. Расчет учитывает параметры надежности релейной защиты (включая надежность функций устройства и самого устройства/реле). Целью работы является моделирование различных топологий схем для повышения надежности схем и анализ влияния надежности релейной защиты на интегральные параметры надежности.

Ключевые слова: моделирование, надежность, SAIDI, SAIFI.

MODERN METHODS FOR CALCULATING THE RELIABILITY PARAMETERS OF ELECTRIC POWER MODES, TAKING INTO ACCOUNT THE RELIABILITY OF THE RE

Abstract: The paper presents an algorithm for calculating the reliability parameters of the electrical circuit of the main electric network. The calculation takes into account the reliability parameters of the relay protection (including the reliability of the device functions and the device/relay itself). The aim of the work is to model various circuit topologies to improve circuit reliability and analyze the effect of relay protection reliability on integrated reliability parameters.

Keywords: modeling, reliability, SAIDI, SAIFI.

Надежность электроснабжения – одно из ключевых требований к системам электроснабжения. Надежность электроснабжения потребителей оказывает значительное влияние как на жизнь одного человека, так и на экономические показатели. В связи с этим при выборе технических решений и сравнении схем электроснабжения появляется задача – расчет показателей надежности и анализ данных показателей. Анализ показателей надежности необходим для определения вероятности безотказной работы электрооборудования, прогнозирования аварийных ситуаций и оценки рисков их возникновения. Результаты расчета и анализа позволяют принимать обоснованные решения по модернизации и оптимизации системы

электроснабжения, а также обеспечивать безопасность и надежность работы электроустановок.

В настоящей работе представлен расчет показателей надежности, выполненный с использованием программно-аппаратного комплекса «Цифровой двойник энергосистем» (далее – «ЦДЭС»).

Методика расчета. Для расчета надежности и верификации полученных результатов исследования в настоящей работе используется 14-узловая схема электрической сети «IEEE 14 Bus Test Case». Данная схема содержит 14 шин, 20 линий и 11 потребителей.

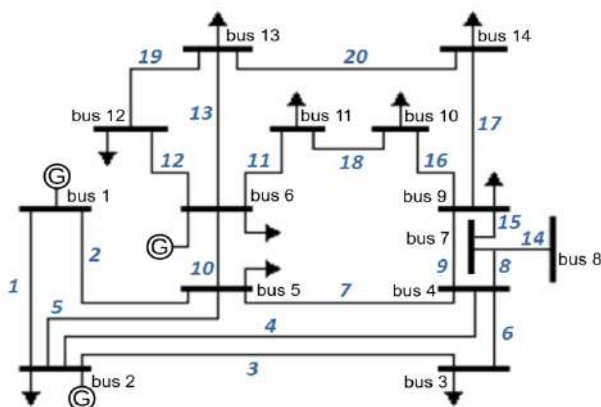


Рис. 1. Тестовая схема электрической сети «IEEE 14 Bus Test Case»

Методика расчета показателей надежности. Расчет показателей надежности в ПАК «ЦДЭС» состоит из нескольких этапов:

- ввод исходных данных;
- генерация перечня сценариев по критерию N-k;
- расчет сгенерированных сценариев;
- расчет объектовых показателей надежности (данный показатель рассчитывается для каждого присоединения и характеризует вероятность перерыва передачи мощности через это присоединения из-за событий, происходящих с элементами схему электроснабжения, к которому это присоединение относится);
- расчет интегральных показателей.

Ввод исходных данных. На данном этапе определяются аппаратные показатели надежности всех типов оборудования электроэнергетической сети, кроме нагрузки. Аппаратные показатели включают в себя:

- параметр потока отказов (λ , 1/год);
- среднее время восстановления (τ , час).

В случае, если расчет выполняется с учетом действия релейной защиты, то также необходимо определить параметры неправильной работы релейной

защиты:

- параметр потока коротких замыканий, 1/год;
- параметр потока излишних срабатываний РЗ, 1/год;
- параметр потока отказов РЗ, 1/год;
- параметр потока ложных срабатываний РЗ, 1/год.

В исследовании, проводимом в рамках данной работы, использовались значения аппаратных показателей надежности по умолчанию (данные рассчитаны ОРГРЭС и соответствуют справочным [1]).

Генерация перечня сценариев. Для расчета интегральных показателей заданной схемы необходимо сгенерировать сценарии неправильной работы релейной защиты осуществляется по сценарию по критерию N-k.

В настоящей работе необходимо определить показатели надежности функционирования электроэнергетической схемы, поэтому для решения поставленных задач требуется сформировать перечень сценариев, приводящих к ограничению электроснабжения потребителей. Для формирования перечня сценариев в данной работе используется критерий N-k, где N – это суммарное количество элементов; k – это количество одновременно отключаемых элементов.

$$C_N^K = \frac{N!}{(N-k)! * k!} \quad (1)$$

Также приложение генерирует сценарии, учитывающие неправильную работу (отказ, ложное и излишнее срабатывания) релейной защиты каждого элемента. Для схемы, рассчитанной в рамках данной работы, количество сценариев при k – 3, сгенерировано 6759 сценариев.

Расчет сгенерированных сценариев. На данном этапе расчетов необходимо произвести расчет показателей сгенерированных сценариев, но перечень сценариев, составленный по критерию N-k, может содержать сценарии, вероятность реализации которых очень мала и расчет сценариев не оказывает значительного влияния на интегральные показатели надежности схемы, но при этом замедляет процесс расчета их. В связи с этим, в данной работе не учитывались сценарии, вероятность реализации которых менее 10^{-6} .

На данном этапе для каждого сценария рассчитывается:

- вероятность реализации сценария:

$$q = \lambda * \tau / 8760, \text{ отн. ед.;} \quad (2)$$

где λ - агрегированный параметр потока отказов;

τ - агрегированное время восстановления.

- параметр потока отказов эквивалентный:

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \text{ 1/год} \quad (3)$$

- время восстановления эквивалентное:

$$\tau_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \text{ час} \quad (4)$$

где: λ_i – параметр потока отказав i -го;

τ_i – время восстановления i -го элемента.

- количество и перечень нагрузок, потерявших электроснабжение, а также их суммарная мощность.

Расчет интегральных показателей. Заключительным и основным этапом расчета схемы является – расчет интегральных показателей. Интегральные показатели должны в обобщённом виде характеризовать уровни снабжения электрической энергией нагрузок схемы. Для каждого контролируемого узла нагрузок должны быть определены критерии по уровню и времени нарушения электроснабжения, по которым выделяются случаи отказа в электроснабжении узла.

Помимо интегральных показателей, рассчитанных для потребителей электроэнергии, так же рассчитываются системные показатели:

- средняя длительность ограничения потребителей на один узел за год:

$$SAIDI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{N_i} T_{nj}, \text{ час;} \quad (5)$$

- средний индекс частоты прерываний в работе системы на один узел:

$$SAIFI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L Q_i N_i, \text{ 1/год;} \quad (6)$$

- сетевой показатель недоотпуска ЭЭ. Данный показатель характеризует значение недоотпущенной электроэнергии за год, отнесенные к 1 МВт нагрузки электрической сети:

$$S_w = \frac{\sum_{j=1}^N 60 * \Delta P_j * T_{nj} * \lambda_i}{P_c}, \text{ [мин/год];} \quad (7)$$

В настоящее время существует множество методов и инструментов для расчета показателей надежности, таких как математическое моделирование, статистические методы, имитационное моделирование и т.д. Наиболее популярными комплексами являются PSS Sincal и Powerfactory.

Для верификации значений, рассчитанных в приложении «Анализ схем и режимов» «ЦДЭС» была разработана аналогичная схема в ПО «Powerfactory» с идентичными параметрами надежности элементов и параметрами расчета показателей надежности.

Таблица I.

СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТОВ ПАК «ЦДЭС» И ПО «POWERFACTORY»

	<i>Powerfactory</i>	<i>ЦДЭС</i>	<i>Комментарий</i>
C_N^k	4117	6759	Расхождение вызвано тем, что в Powerfactory не учитывается отказ выключателей

SAIDI, час	0,074	0,074928	Расхождение менее 10%
SAIFI,	0,014091	0,014211	Расхождение менее 10%
S _w	0,014191	0,014321	Расхождение менее 10%

Заключение

Результаты расчета с использованием «ЦДЭС» позволяют проводить расчет параметров надежности для сравнительной оценки различных решений и топологий электроэнергетических схем, что необходимо для принятия обоснованных решений по модернизации и оптимизации системы электроснабжения, а также обеспечения безопасности и надежности работы электроустановок. Возможность учета неправильного действия РЗ при расчете показателей надежности позволяет производить высокоточные расчёты, что продемонстрировал сравнительный анализ «ЦДЭС» и ПО «Powerfactory».

Список литературы

- [1] Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012 – 376 с.
- [2] В.А. Непомнящий «Надежность оборудования энергосистем» - М: Изд. ж. «Электроэнергия». Передача и распределение, 2013 г.- 196 с.
- [3] А.Ф. Дьяков, В.А. Стенников, С.М. Сендеров «Надежность систем энергетики: Проблемы, модели и методы их решения», Изд. Новосибирск «Наука», 2014 г. – С. 219–251

Сведения об авторах:

Иванов Антон Алексеевич – 1997 г.р., аспирант кафедры «Релейная защита и автоматизация энергосистем», НИУ «МЭИ», область научной работы – релейная защита и автоматика.

Малютин Михаил Сергеевич – 1999 г.р., аспирант кафедры «Релейная защита и автоматизация энергосистем», НИУ «МЭИ», область научной работы – релейная защита и автоматика.

Маринов Ярослав Александрович – 2000 г.р., магистрант кафедры «Релейная защита и автоматизация энергосистем», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита и автоматика.

Сафронов Борис Андреевич – 1987 г.р., старший преподаватель кафедры «Релейная защита и автоматизация энергосистем», НИУ «МЭИ», область научной работы – релейная защита и автоматика.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Козлова Н. С., Ахметзянов А. Ф., Зорин Е. И.

E-mail: kozlovans63@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассматриваются факторы, способные оказать негативное влияние на организацию безопасного производственного процесса. Представлены результаты исследований электротехнического персонала транспортного предприятия по методу Толкачева – Ганзена. На основе полученных данных определяется возможность практического применения диагностики на производстве для эффективного функционирования кадровой службы в вопросах формирования трудового коллектива дистанции электроснабжения.*

***Ключевые слова:** безопасность труда, человеческий фактор, совместимость персонала.*

IDENTIFICATION OF PERSONNEL AT RAILWAY INDUSTRY ENTERPRISES

***Annotation.** The article discusses factors that can have a negative impact on the organization of a safe production process. The results of studies of electrical technical personnel of a transport enterprise using the Tolkachev-Hansen method are presented. Based on the data obtained, the possibility of practical application of diagnostics in production is determined for the effective functioning of the personnel service in matters of forming a workforce over a power supply distance.*

***Key words:** labor safety, human factor, personnel compatibility.*

Безопасность производственных процессов обеспечивается разработкой строгих технологических регламентов, реализация которых требует от исполнителей высокой компетентности, богатого производственного опыта, мотивации и особых личностных характеристик. Возросший уровень требований к интеллекту персонала и многочисленным психологическим процессам (внимание, восприятие, способность отвечать за человеческие жизни) актуализирует необходимость оптимизации кадровой политики предприятий железнодорожной отрасли. Психологические характеристики человека либо определяют его потенциальные возможности, либо могут накладывать ограничения, способные стать причиной несчастных случаев на производстве.

Настоящая работа продолжает начатые раньше исследования по изучению характерологических особенностей персонала одной из отраслей железнодорожного транспорта – хозяйства электроснабжения [1, 2, 3]

Изменения, вызванные научно-техническим прогрессом в технической базе производства, повышают уровень требований к профессионально-производственным характеристикам рабочей силы. Для успешной деятельности предприятий важно находить наилучшие решения вопросов расстановки кадров, рационального использования рабочей силы.

В работе проведено исследование возможностей метода системно-векторной психологии как фактора эффективного использования и расстановки кадров. От того, насколько точно определен род деятельности для отдельного работника, зависит не только материальное благополучие сотрудника, но и удовлетворение от работы, развитие личности и реализация его потенциальных возможностей.

Применение психологической методик в профотборе электротехнического персонала

Зигмунд Фрейд предложил концепцию, в которой утверждал, что все способности и таланты формируются еще в материнской утробе. Позднее, российские психологи Владимир Ганзен и Виктор Толкачев использовали эту теорию в качестве основы для разработки полноценной психологической системы [4, 5]. В настоящее время эта система известна как системно-векторная психология, ставшая основой для разработки тестов по определения личностных характеристик.

Система базируется на наличии восьми чувствительных зон на теле человека, которые для удобства обозначаются цветами: красный, зеленый, коричневый, черный, синий, фиолетовый, желтый и оранжевый. Каждая цветная зона характеризует черты, присущие человеку с рождения, которые в целом остаются неизменными на протяжении жизни. Именно эти характеристики помогают определиться с выбором профессии, наиболее оптимальной для каждого отдельного человека.

Одна из основных задач системно-векторной психологии - помочь человеку развить свои внутренние ресурсы и потенциалы для достижения личностного роста, продвижения в профессиональной сфере. Ключевая концепцией этой системы состоит в том, что личность функционирует как система, включающая в себя множество элементов, взаимодействующих между собой. Вектор же представляет собой направление движения человека, его стремления и цели.

Системно-векторная психология помогает личности в осознании своих сильных и слабых сторон, помогает реализации процессов самоанализа и самопознания, а также в построении сознательного и целенаправленного саморазвития. Она помогает человеку осознать свои потребности, интересы и ценности, найти способы и средства их реализации в профессиональной деятельности.

В настоящее время вопросы определения профессиональной направленности и возможной трудовой деятельности старшекурсников являются весьма актуальными и значимыми. С целью получения объективных данных для понимания индивидуальных особенностей студентов, было организовано анкетирование по методу Толкачева – Ганзена. В опросе приняли участие студенты – пятикурсники специальности «Электроснабжение железных дорог» СамГУПС.

Анализ результатов исследования позволил установить ключевые личностные характеристики респондентов, позволяющее точнее определиться с выбором будущей профессиональной деятельности. На рисунке 1 фрагментарно представлены полученные результаты по пяти респондентам.

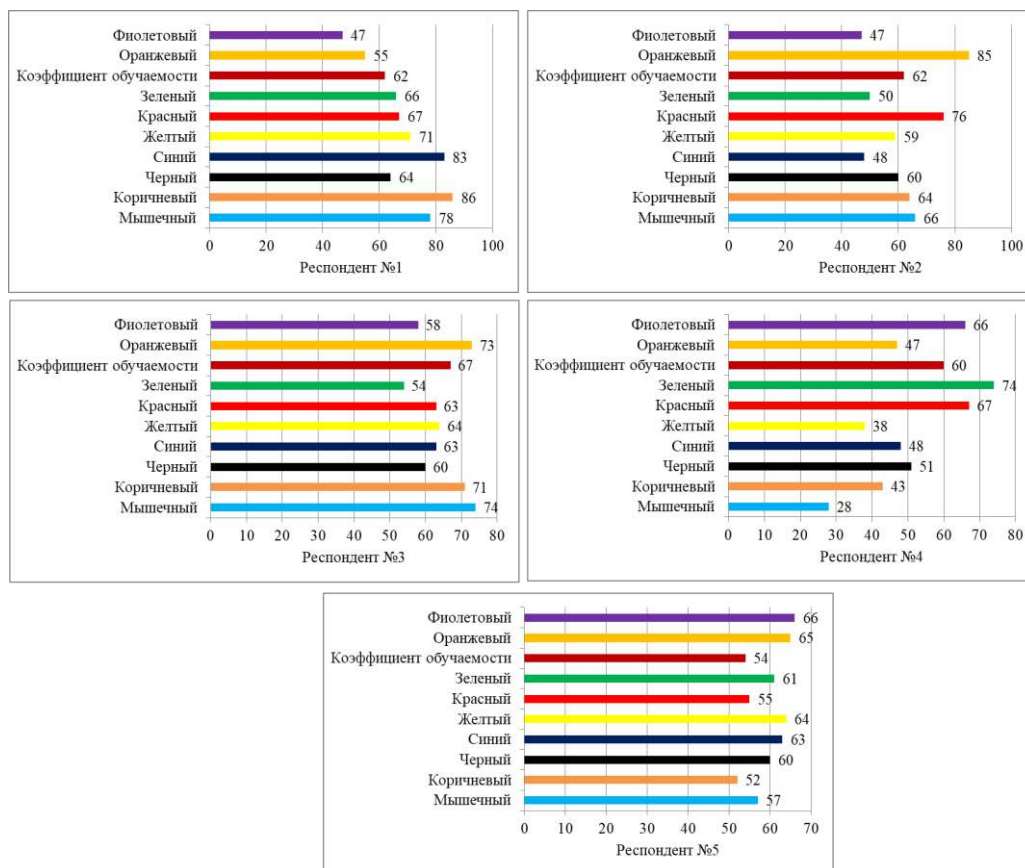


Рис. 1. Результаты тестирования студентов

Для анализа данных по системно-векторной психологии, необходимо рассмотреть значения показателей (в интервале от 1 до 100), которые могут иметь отношение к выбору профессии, связанной с электроснабжением железных дорог, а именно: мышечный, синий, зеленый, красный, коричневый.

В качестве примера можно рассмотреть характеристику респондента 1 (рис. 1). Результаты анализа позволяют предположить следующее.

Студент предрасположен к физическому труду, к работе на высоте, применению в работе тяжелой техники (мышечный вектор – 78).

Ему присущи:

- аккуратность и ориентированность на детали, спокойствие, уравновешенность (коричневый вектор – 86);
- выдержка и устойчивость к стрессам (черный вектор 64);
- способность слушать и воспринимать информацию через слух (синий – 83);
- среднее коммунибельность и умение выразить свои мысли (желтый – 71), среднее восприимчивость к визуальной информации (зеленый – 66).

Для уточнения практической направленности исследований, подобное тестирование было осуществлено применительно к персоналу дистанции электроснабжения, занятому обслуживанием устройств контактной сети. Полученные результаты отражены на рисунке 2.

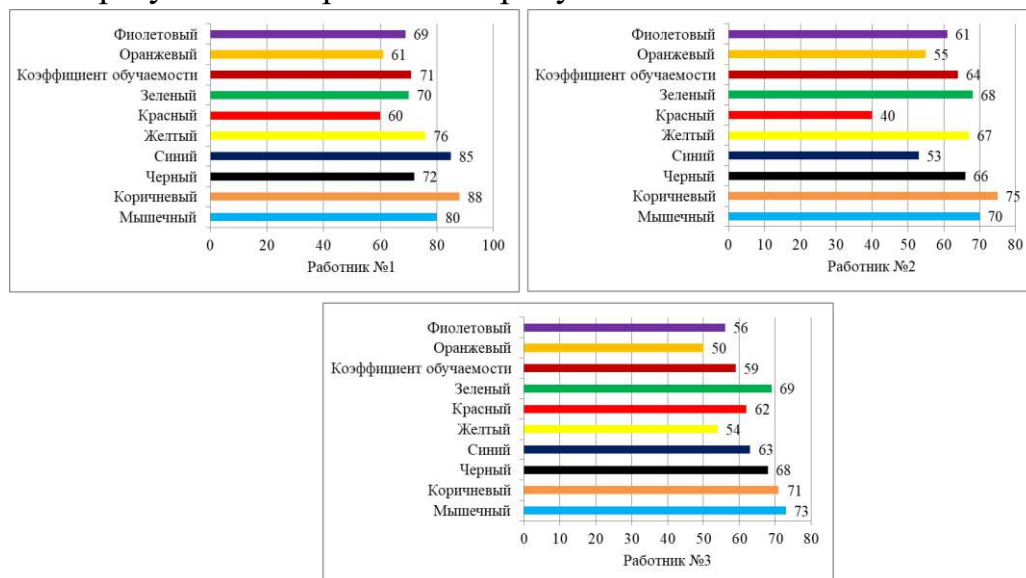


Рис. 2. Результаты тестирования работников

Результаты работника №1 говорят о следующем:

- аккуратность и ориентированность на детали, спокойствие, уравновешенность (коричневый вектор – 88);
- выдержка и устойчивость к стрессам (черный вектор 72);

- способность слушать и воспринимать информацию через слух (синий – 85);
- среднее коммуникабельность и умение выразить свои мысли (желтый – 76), среднее восприимчивость к визуальной информации (зеленый – 70).

Результаты исследования позволяют говорить о совпадении ключевых личностных характеристик действующего железнодорожника с рассмотренными выше характеристиками старшекурсника: различие в оценках не превышает пяти баллов. Это позволяет предположить, что на этапе трудоустройства выпускника ВУЗа в дистанцию электроснабжения будет обеспечено его «мягкое», бесконфликтное вхождение в трудовой коллектив и адаптация молодого железнодорожника станет скорой и успешной.

Системно-векторная психология представляется актуальным методом к исследованию личности, основанным на системном анализе и векторном подходе. Она помогает человеку осознать свои внутренние ценности, потребности, способности и интересы, а также определиться с выбором вида трудовой деятельности, отвечающей его индивидуальным особенностям.

Заключение

Внедрение исследования характерологических особенностей персонала на предприятии при приеме на работу позволит точнее выбрать род занятий для вновь принимаемого работника и при необходимости уделить ему дополнительное внимание и контроль, что, в свою очередь, обеспечит успешную адаптацию и внесет положительные изменения в эффективность системы организации труда.

Библиографический список

1. Козлова Н. С. Управление рисками на транспорте с учетом человеческого фактора / Экономика и предпринимательство. - 2023.-№2(151). - С.1099-1104
2. Митрофанов А. Н., Козлова Н. С. Идентификация психологической совместимости персонала предприятий железнодорожной отрасли и выпускников транспортного вуза / Экономика и предпринимательство. -2023.- №3(152). - С.997-1002
3. Козлова Н. С., Скольский А. В. Определение склонности к риску как фактора влияния на безопасность труда на предприятиях транспортной отрасли / Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. - 2022.-№2(5). - С.315-317
4. Толкачев В. К. Роскошь системного самопознания. Основы системно-векторного психоанализа. - СПб.: Академия системного мышления В. К. Толкачева. 2008. - 392 с.

5. Ганзен В. А. Восприятие целостных объектов. – Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. - 152 с.

Сведения об авторах:

Козлова Н.С. – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжения железнодорожного транспорта», Самарский Государственный Университет Путей Сообщения. E-mail: kozlovans63@yandex.ru.

Ахметзянов А.Ф. – студент 5 курса кафедры «Электроснабжения железнодорожного транспорта», Самарский Государственный Университет Путей Сообщения. E-mail: akhmetzyanov.adel2001@mail.ru.

Зорин Е.И. – студент 5 курса кафедры «Электроснабжения железнодорожного транспорта», Самарский Государственный Университет Путей Сообщения. E-mail: holmes1408@gmail.com.

РАСЧЕТНОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ НИЗКОВОЛЬТНЫХ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ

Петров А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

E-mail: petroval13@mail.ru

Аннотация. В работе проведено исследование проблемы оценки эффективности функционирования магнитных пускателей низковольтных сетей электроснабжения. Проведен анализ основных технических характеристик коммутационных аппаратов отечественных и зарубежных производителей. Разработаны алгоритм и модели для оценки эффективности работы устройств, позволяющие уточнить величину активных потерь мощности и электроэнергии в низковольтных электрических сетях.

Ключевые слова: магнитный пускатель, контактные соединения, аппроксимирующие функции, конструктивные особенности.

CALCULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE RESISTANCE OF LOW-VOLTAGE MAGNETIC STARTERS

Annotation: In the paper the research of the problem of evaluation of the efficiency of magnetic starters of low-voltage power supply networks is carried out. The main technical characteristics of switching devices of domestic and foreign manufacturers have been analyzed. An algorithm and models for evaluating the efficiency of devices have been developed, which allow to specify the value of active power and energy losses in low-voltage power networks.

Keywords: magnetic starter, contact connections, approximating functions, design features.

В связи с тем, что контактные системы коммутационных аппаратов в процессе эксплуатации находятся в замкнутом положении и от их состояния зависит уровень надежности низковольтной сети в целом, - к контактным соединениям предъявляются строгие требования. К основным конструктивным особенностям аппаратов относятся форма, материалы и геометрические размеры контактов, тип биметаллических материалов и вид устройств защиты от электрической дуги.

Графические зависимости потерь активной мощности в контактах магнитных пускателей от номинального тока представлен на рис. 1. Функции выбраны на основании наибольшего коэффициента детерминации R^2 и наименьшей ошибки аппроксимации \bar{A} .

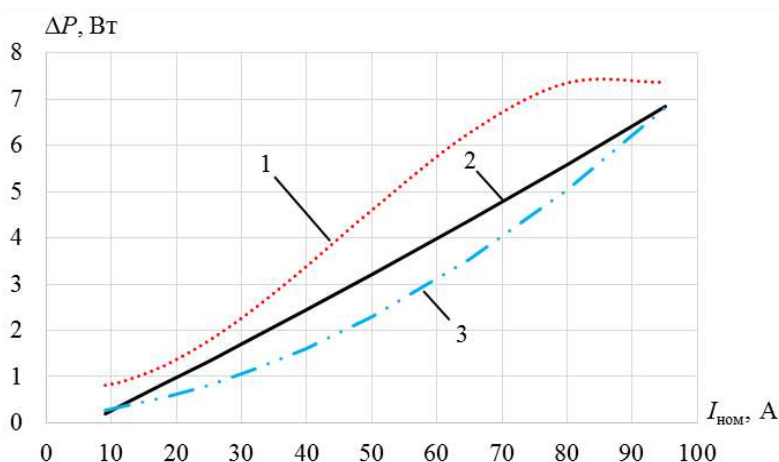


Рис.1. Графики аппроксимирующих функций потерь активной мощности для магнитных пускателей: 1 – АВВ А/Ф (АВВ); 2 – ПМЛ (КЭАЗ), КМИ (ИЕК), EasyPact TVS (Schneider Electric); 3 – СТХ (Legrand)

В таблице 1 представлены аппроксимирующие функции потерь мощности.

Таблица 1

Аппроксимирующие функции потерь мощности в контактных системах

Марка аппарата и производитель	Аппроксимирующая функция	R^2	\bar{A} , %
ПМЛ (КЭАЗ); КМИ (ИЕК); EasyPact TVS (Schneider Electric)	$\Delta P_1 = 9 \cdot 10^{(-5)} \cdot I^2 + 0,0679 \cdot I - 0,4125$	0,9856	7,23
АВВ А/Ф (АВВ)	$\Delta P_2 = -2 \cdot 10^{(-4)} \cdot I^3 + 0,0032 \cdot I^2 - 0,0272 \cdot I + 0,815$	0,9918	4,58
СТХ (Legrand)	$\Delta P_3 = 6 \cdot 10^{(-4)} \cdot I^2 + 0,0135 \cdot I + 0,1121$	0,9925	12,48

Проведем оценку сопротивлений контактных соединений аппаратов в зависимости от номинального тока и коэффициента загрузки по выражению:

$$R_{\text{к.расч.}} = \frac{2\sqrt{\lambda \cdot F \cdot k_T \cdot S}}{I^2} \cdot \left(\theta_{\text{к}} - \frac{I^2 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot \nu_{\text{к}})}{F \cdot k_T \cdot S} \right), \quad (1)$$

где λ – теплопроводность материала контакта, Вт/(м · К); F – охлаждающая поверхность единицы длины проводника, м²; k_T – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К); S – площадь поперечного сечения контактов, м²; I – ток через контакты, А; $\nu_{\text{к}}$ – температура контактных площадок, °С; $\theta_{\text{к}} = 45^\circ\text{С}$ – допустимый перепад температуры контакта относительно температуры

окружающей среды; ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом · м; α – температурный коэффициент сопротивления.

Установившееся значение температуры контакта

$$\nu_k = \frac{I^2 \cdot \rho + \nu_0 \cdot F \cdot k_r \cdot S}{F \cdot k_r \cdot S - I^2 \cdot \rho \cdot \alpha}, \quad (2)$$

где ν_0 – температура окружающей среды, $\nu_0 = 35$ °С.

Результаты расчетов сопротивлений контактных соединений для магнитного пускателя ПМЛ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета технических характеристик

Ток $I_{ном}, A$	Размеры контактов, мм	Температура контактов $\nu_k, ^\circ C$	Сопротивление контактов, $R, мОм$
25	$r = 4$	35,6	12,6
40	$a = 8,1$ $b = 8,1$	35,9	6,34
63	$a = 12$ $b = 12$	35,7	4,35

Используя данные проведенных исследований, проведем сравнительный анализ графических зависимостей сопротивлений контактных соединений от номинального тока, полученных экспериментально, по потерям мощности (каталожные данные), расчетным способом для магнитных пускателей ПМЛ. Результат представлен на рисунке 2.

В процессе эксплуатации аппарата не должно быть недопустимого перегрева аппарата в целом и его отдельных элементов, это требование необходимо соблюдать на протяжении всего срока службы НКА. Нагрев контактных соединений НКА происходит под воздействием различных источников теплоты, интенсивность которых меняется в зависимости от режима работы и нагрузки аппарата.

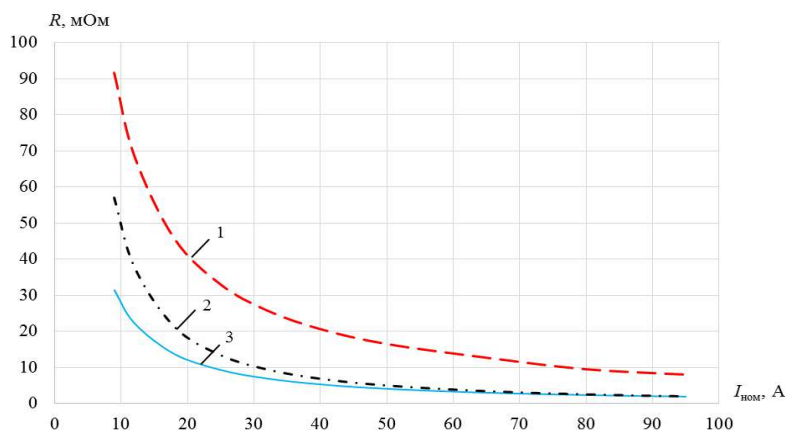


Рис.2. Графики зависимостей сопротивлений контактов от номинального тока для магнитных пускателей ПМЛ: 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные значения; 3 – данные по потерям мощности

На рис. 3 представлены графические зависимости температуры контактных площадок от коэффициента загрузки для магнитного пускателя марки ПМЛ с номинальным током 25 А и 40 А.

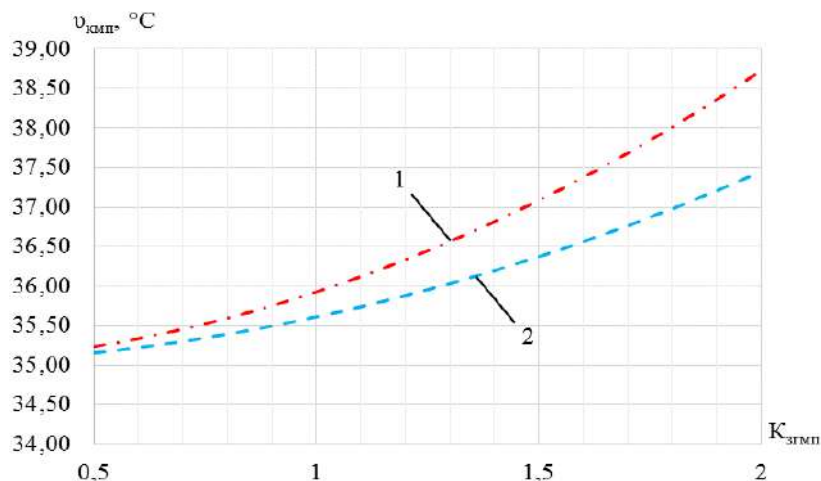


Рис.3. Графики зависимостей температуры контактов от коэффициента загрузки для магнитного пускателя ПМЛ:

1 – $I_{ном} = 40 \text{ А}$; 2 – $I_{ном} = 25 \text{ А}$

Аппроксимирующие функции (табл. 3) позволяют оценивать значения сопротивлений контактов и контактных соединений НКА.

Таблица 3

Аппроксимирующие функции зависимостей сопротивлений контактов

Тип аппарата	Диапазон тока аппарата	Аппроксимирующая функция
	от 6 А до 630 А	$R_{к.с.расч.мп} = 1276,2 \cdot I_{ном}^{-1,414}$

Магнитный пускатель ПМЛ	$R_{\text{КС.ЭКСП.МП}} = 894,51 \cdot I_{\text{НОМ}}^{-1,028}$
-------------------------	--

Заключение

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что учет потерь мощности в контактных соединениях низковольтных коммутационных аппаратов позволяет уточнять величину потерь электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения. Выявленные зависимости рекомендуются для получения достоверных оценок расчетных значений эквивалентных сопротивлений низковольтных электрических сетей. Математические модели и аналитические зависимости позволяют выявить эффективные в эксплуатации типы низковольтных аппаратов и рационально внедрять мероприятия по энергосбережению в системах внутризаводского электроснабжения.

Литература

1. Петров А. Р., Грачева Е. И. Моделирование потерь мощности в контактных системах низковольтных коммутационных аппаратов // Омский научный вестник. 2023. № 2 (186). С. 126–133. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-126-133.
2. Грачева Е. И., Наумов О. В., Горлов А. Н. Проблемы исследования эквивалентного сопротивления электрических цеховых сетей низкого напряжения // Вестник КГЭУ. 2019. №3 (43). С.38-46.
3. Грачева Е. И. и др. Определение законов изменения сопротивления контактных групп электрических аппаратов низкого напряжения // Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 4. С. 350–360. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-4-350-360>.
4. Andrusca M., Adam M., Burlica R., Munteanu A., Dragomir A. Considerations regarding the influence of contact resistance on the contacts of low voltage electrical equipment // International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iasi, Romania, 2016, pp. 123-128, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781317>.
5. Calin M. D., Helerea E. Aspects Regarding Testing of Electromagnetic Contactors Sensitivity to Voltage Dips // International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), Bucharest, Romania, 2020, pp. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1109/ISFEE51261.2020.9756156>.

Сведения об авторах:

Петров А.Р. – аспирант 2-го курса, группы СЭМа-1-22 кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань, Россия.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Шарифов Б.Н., Шарипов Н.Д., Давлатов А.А.

Научный руководитель – к.т.н. Диёрзода Р.Х

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: bohir.sharifov89@gmail.com

Аннотация: В работе рассматриваются современные методы отслеживания точкой максимальной мощностью (ТММ) фотоэлектрических установок. Также рассмотрены возможные способы повышения эффективности системы в целом. Для улучшения энергетической эффективности генерации в фотоэлектрических установках эффективным способом является использование алгоритма отслеживания ТММ.

Ключевые слова солнечная энергетика, фотоэлектрическая установка, точка максимальной мощности, алгоритмы.

ANALYSIS OF MODERN CONTROL SYSTEMS FOR TRACKING THE MAXIMUM POWER OF PHOTOVOLTAIC EQUIPMENT

Annotation: The paper examines modern methods for maximum power point tracking (MPP) of photovoltaic equipment. Possible ways to improve the efficiency of the system as a whole are also considered. To improve the energy efficiency of generation in photovoltaic equipment, an effective way is to use the TMM tracking algorithm.

Keywords: solar energy, photovoltaic equipment, mathematical model, Matlab/Simulink.

Для эффективного использования ФЭУ необходимо знать точку максимальной мощности (ТММ) на вольт ваттной характеристике (ВВХ) (рис. 1 б.) и обеспечить такой режим, чтобы отдаваемая мощность, при изменении окружающих условий, была наибольшей. При отработке ФЭУ используют имитаторы солнечных батарей, позволяющие воспроизводить характеристики ФЭУ под влиянием разнообразных внешних воздействий. Основным компонентом, участвующим в повышении энергетической эффективности фотоэлектрической установки (ФЭУ), является импульсный преобразователь постоянного тока (DC/DC- преобразователь). Функциональная схема ФЭУ с DC/DC- преобразователем представлена на рисунке 1 а. Посредством DC/DC- преобразователь можно изменять выходную мощность ФЭУ путем изменения выходного напряжения и тока.

На рисунке 1 б можно заметить присутствие фотоэлектрического модуля экстремума мощности у ВВХ, который обеспечивает максимальный сбор энергии. Целью повышения эффективности ФЭУ является нахождения тока и напряжения, комбинация которых выдает максимум мощности ФЭМ.

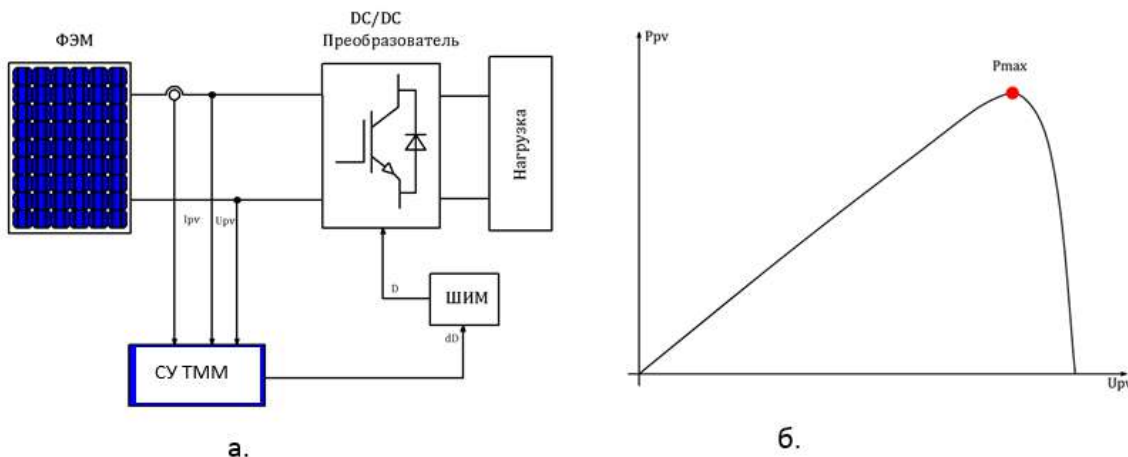


Рис.1 – а).Функциональная схема ФЭУ, б) Вольт ваттная характеристика ФЭУ

Поскольку ВВХ ФЭМ меняется в зависимости от погодных условий (изменение уровня СИ и температуры окружающей среды, угол падения СИ) усложняет эту задачу. Анализ статьи [2] показывает, что при изменении внешних условий ВВХ фотоэлектрического модуля меняется, что приводит к постепенному смещению точки максимальной мощности. Скорость этого смещения может достигать около 0,03 В/с [2]. В связи с этим разработчики сталкиваются с задачей отслеживания этой точки с целью максимизации производимой фотоэлементом энергии.

Энергетическая эффективность фотоэлектрических установок является важным показателем и определяется тем, насколько эффективно они преобразуют солнечную энергию в электрическую. В данном случае, статья [60] указывает, что при использовании метода слежения максимальной мощности энергетическая эффективность может достигать до 30%.

Существует несколько способов поиска ТММ фотоэлектрической установки. Например, в статье [1,2] описывается метод токовой развёртки, основанный на использовании сигнала развёртки для тока фотоэлектрических установок. Этот метод позволяет периодически обновлять вольтамперную характеристику (ВАХ) с постоянной частотой. Напряжение в точке максимальной мощности вычисляется на основе ВАХ. В работе [2] рассматривается применение метода возрастающей проводимости для оценки эффекта изменения напряжения в солнечной установке. Для этого регулятор фиксирует изменения тока и напряжения, что позволяет нам получить предварительную оценку влияния этих изменений. В статье [3] рассмотрен

метод постоянного напряжения, известный также как метод холостого хода напряжения. Суть данного метода заключается в регулирование выходного напряжения постоянным значением. Одна особенность метода постоянного напряжения заключается в том, что он не учитывает изменения входных параметров, такие как температура и освещенность, которые могут влиять на выходное напряжение. Это может привести к большой погрешности на больших расстояниях. Например, на солнечных батареях, работающих на методе постоянного напряжения, температурные изменения могут значительно влиять на выходную мощность. При повышении температуры батареи ее эффективность может снижаться, что приводит к снижению выходного напряжения. Точно так же, изменения освещенности могут вызывать колебания в выходном напряжении. Более популярным методом является метод возмущения и наблюдения, который был широко использован [1] – [7]. В этом методе устройство МРРТ итеративно изменяет напряжение на фотоэлектрическом массиве для изменения мощности. Путем оценки изменения мощности, регулятор определяет направление поиска точки экстремума ВВХ. Однако, этот метод имеет недостатки - колебания мощности и длительное время регулирования. Колебания мощности возникают из-за итеративного изменения напряжения на фотоэлектрическом массиве. Из-за таких изменений мощности, регулятор может совершать перепрыгивания экстремумов, что приводит к колебаниям и нестабильности работы устройства. Длительное время регулирования происходит из-за итеративности метода. Каждое изменение напряжения требует некоторого времени для измерения и оценки мощности, чтобы определить направление поиска точки экстремума. Таким образом, достижение оптимального значения может занять длительное время. Для решения этих проблем предлагается использовать модифицированный алгоритм Р&О.

Выводы

Для улучшения энергетической эффективности генерации в фотоэлектрических установках эффективным способом является использование алгоритма отслеживания ТММ. После проведения сравнительного анализа стало очевидным, что сложность алгоритма является ключевым параметром, влияющим на общую производительность системы при реализации алгоритмов отслеживания.

Литература

1. K. Sundareswaran, V. Vigneshkumar, P. Sankar, S. P. Simon, P. Srinivasa Rao Nayak, and S. Palani, "Development of an Improved P&O Algorithm Assisted

Through a Colony of Foraging Ants for MPPT in PV System,” IEEE Trans. Ind. Inform., vol. 12, no. 1, pp. 187–200, 2016.

2. R. B. A. Koad, A. F. Zobaa, and A. El-Shahat, “A Novel MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems,” IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 8, no. 2, pp. 468–476, 2017.

3. M. S. Jamri, A. M. Kassim, and M. R. Hashim, “A voltage mode control maximum power point tracking for stand-alone photovoltaic system,” Appl. Mech. Mater., vol. 313–314, pp. 503–507, 2013.

4. Nkambule, M.; Hasan, A.; Ali, J.A. Proportional study of Perturb & Observe and Fuzzy Logic Control MPPT Algorithm for a PV system under different weather conditions. In Proceedings of the IEEE 10th GCC Conference and Exhibition, Kuwait City,

5. Kuwait, 19–23 April 2019. 24. Reddy, D.C.K.; Satyanarayana, S.; Ganesh, V. Design of Hybrid Solar Wind Energy System in a Microgrid with MPPT Techniques. Int. J. Electr. Comput. Eng. 2018, 8, 730–740.

6. Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная // Альтернативная энергетика и экология – 2015. – № 8-9 – С. 12-18.

7. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Аржанов В.В., и др. Автоматизированная фотоэлектрическая установка с повышенной энергетической эффективностью // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24). – С. 282-287.

Сведения об авторах:

Диёрзода Рустам Хакимали – 1986 г.р., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на основе машины двойного питания.

Шарифов Бохирджон Насруллоевич – 1989 г.р., ассистент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на солнечных электростанции.

Шарипов Нурулло Давлатбекович – 1976 г.р. соискатель кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – область научной работы – автоматика и управление фотоэлектрических установок.

Давлатов Абдулманон Абдулфатохевич – 2001 г.р., магистрант кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

*Шарифов Б.Н., Давлатов А.А., Чалолзода Э.А.
Научный руководитель – к.т.н. Диёрзода Р.Х
ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
E-mail: bohir.sharifov89@gmail.com*

***Аннотация:** В работе рассматривается современный метод отслеживания точкой максимальной мощностью (ТММ) фотоэлектрических установок на основе алгоритмов нечеткой логики. Разработана регулятор нечеткой логики слежение за ТММ фотоэлектрической установки. Проведена модельное исследование характеристик фотоэлектрической установки на основе регулятора нечеткой логики на платформе Matlab/Simulink.*

***Ключевые слова** солнечная энергетика, фотоэлектрическая установка, точка максимальной мощности, регулятор нечеткой логики.*

SMART CONTROL SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC EQUIPMENT

***Annotation:** The paper discusses a modern maximum power point) tracking (MPPT) method for photovoltaic equipment s based on fuzzy logic algorithms. A fuzzy logic controller has been developed to monitor the MPPT of a photovoltaic equipment. A model study of the characteristics of a photovoltaic installation based on a fuzzy logic controller on the Matlab/Simulink platform was carried out.*

***Keywords:** solar energy, photovoltaic equipment, MPPT, fuzzy logic, Matlab/Simulink.*

Основным компонентом, участвующим в повышении энергетической эффективности фотоэлектрической установки (ФЭУ), является импульсный преобразователь постоянного тока (DC/DC- преобразователь). Функциональная схема ФЭУ с DC/DC- преобразователем представлена на рисунке 1 а. Посредством DC/DC- преобразователь можно изменять выходную мощность ФЭУ путем изменения выходного напряжения и тока. Известно, что вольт ваттная характеристика (ВВХ) ФЭУ имеет нелинейную форму и меняется в зависимости от условий окружающей среды (уровень солнечной инсоляции и температуры окружающей среды). На рисунке 1 б. можно заметить присутствие фотоэлектрического модуля (ФЭМ) точки максимальной мощности (ТММ) у ВВХ, который обеспечивает максимальный сбор энергии. Целью повышения эффективности ФЭУ является нахождения тока и напряжения, комбинация которых выдает максимум мощности ФЭМ.

Метод слежения за точкой ТММ ФЭУ с применением нечеткого регулятора (РНЛ) основан на использовании нечеткой логики и теории нечетких множеств. Этот подход позволяет настраивать шаг изменения напряжения в соответствии с оценкой входных параметров и определенными правилами РНЛ на ВВХ (рис. 1 б.).

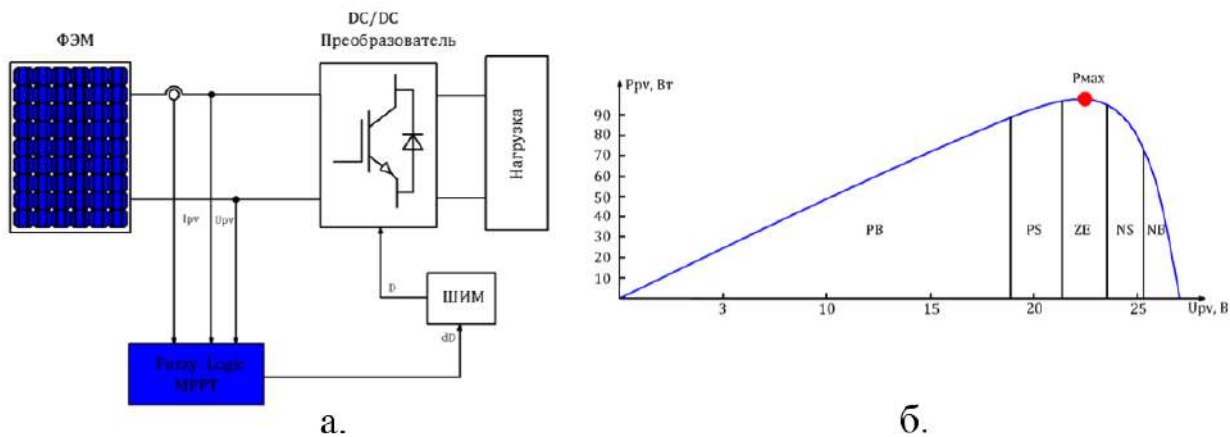


Рисунок 1 – а). Функциональная схема фотоэлектрической установки с РНЛ, б). правила РНЛ на ВВХ

Математическая теория нечетких множеств является формальной системой для описания нечетких понятий и знаний, а также обеспечивает возможность выполнения операций и осуществления нечетких выводов. В научных исследованиях было показано, что использование нечеткой логики для управления системами (нечеткое управление) приводит к лучшим результатам, чем получаемые с использованием традиционных алгоритмов управления [1] - [5].

В обобщенном виде РНЛ представлен на рисунке 2

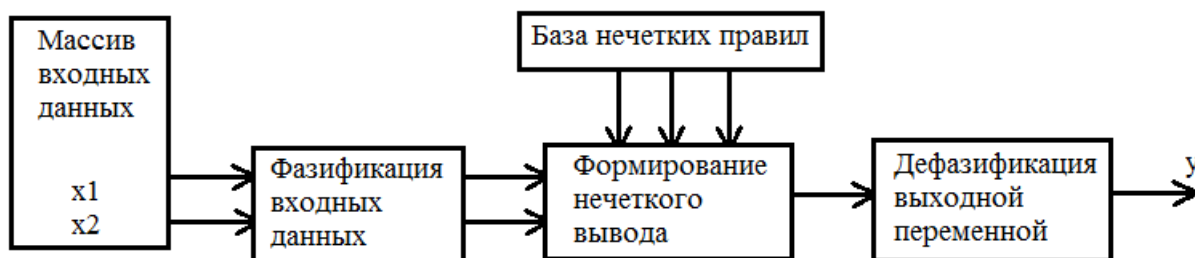


Рисунок 2 – Функциональная схема РНЛ.

Разработка системы, основанной на нечеткой логике, предлагает множество преимуществ, таких как высокая эффективность поиска оптимальных решений при различных условиях. Однако особое значение при реализации такой системы приобретает синтез функции принадлежности (ФП) нечеткой логики. В большинстве случаев разработчики регуляторов нечеткой

логики применяют традиционные методы проб и ошибок для синтеза ФП [1] - [5]. В связи с этим проблемы внедрения методов нечеткой логики для слежения ТММ фотоэлектрической установки является актуальным, а научная и практическая значимость вопросов, связанных с разработкой методик расчета параметров и синтеза алгоритмов нечеткой логики, не вызывает сомнений.

Исходя из вышеизложенных соображений, строится алгоритм синтеза РНЛ и определяются функции принадлежности каждой нечеткой переменной (рис.3).

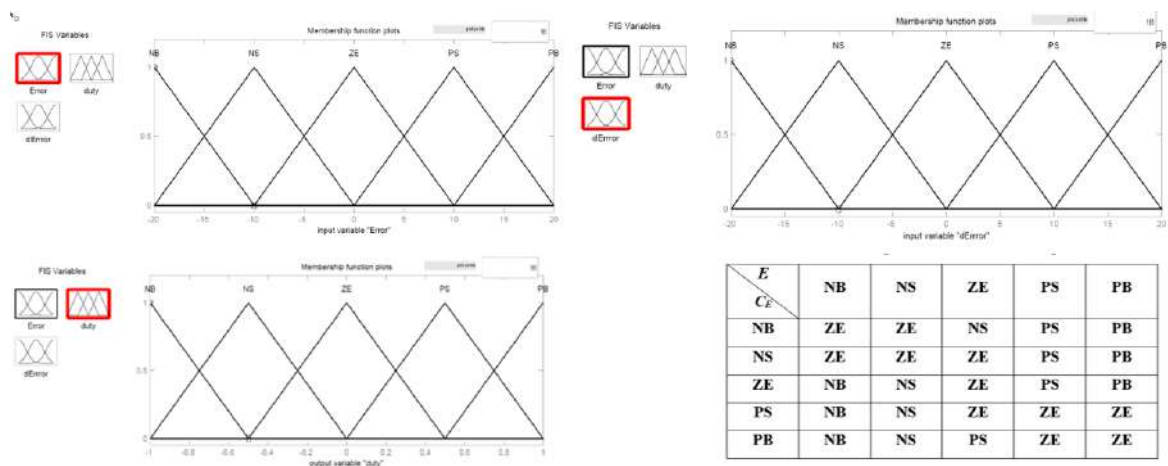


Рисунок 3. Функция принадлежности а). ошибки $E(k)$, б). скорость изменения ошибки $C_E(k)$, в) логического выхода, г) база нечетких правил .

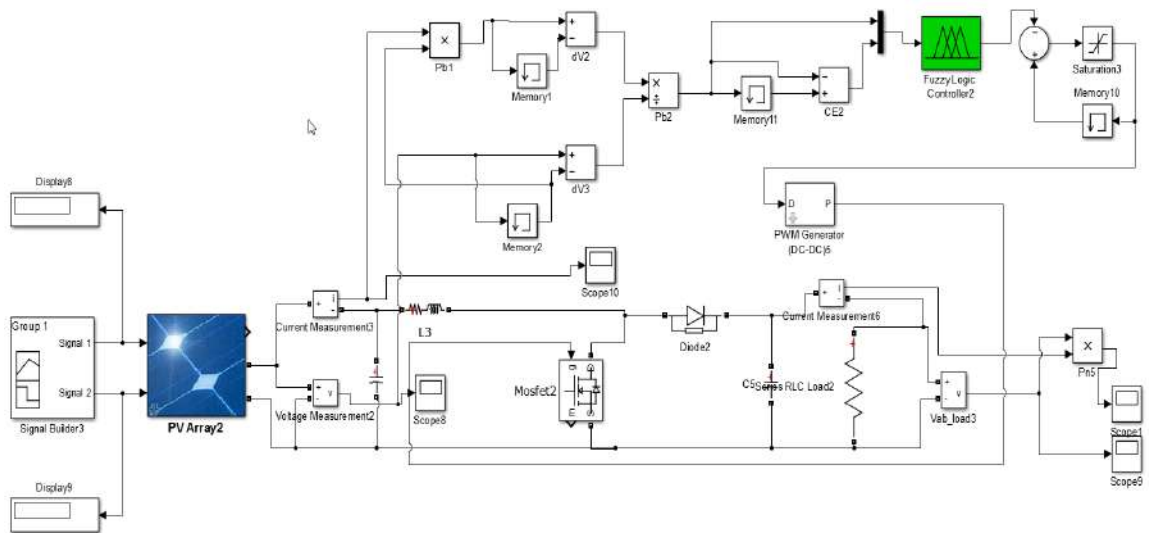


Рисунок 4 – Имитационная модель фотоэлектрической установки с нечетким регулятором.

Имитационная модель фотоэлектрической установки на базе регулятора нечеткой логики показанная на рисунке 4 Представленная модель состоит из следующих основных частей;

- задачик уровня солнечной инсоляции и температуры (**signal builder 3**)

- фотоэлектрический модуль мощностью 100 кВт (PV array 2)
- повышающий DC-DC преобразователь
- система управления фотоэлектрической системы на основе нечеткого регулятора.

Переходные процессы изменение параметров фотоэлектрической установки при различных условиях окружающей среды (уровня солнечной инсоляции и рабочей температуры) приведены на рисунке 5.

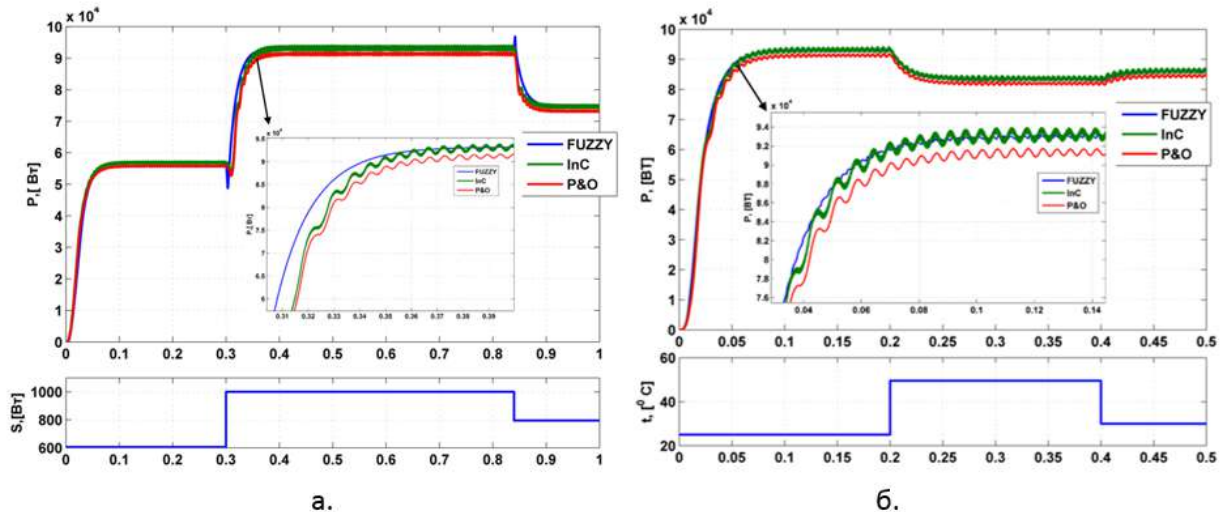


Рисунок 5. Переходные процессы изменения выходной мощности ФЭУ, а). при изменении уровня солнечной инсоляции, б). при изменении температуры

Переходные процессы были смоделированы при использовании алгоритмов «возмущение и наблюдение» (P&O), «возрастающей проводимости» (InC) и нечеткой логики (FUZZY). Анализ рисунка показывает, что отработка максимальной мощности фотоэлектрической установки при изменении уровня солнечной инсоляции и температуры окружающей среды алгоритмом FUZZY происходит с меньшим колебанием и высоким быстродействием по сравнению с классическими алгоритмами (InC и P&O).

Выводы

Для улучшения энергетической эффективности генерации в фотоэлектрических установках эффективным способом является использование алгоритма отслеживания ТММ. Моделирование подтвердило, что использование фотоэлектрической установки с повышающим преобразователем, в которой включен регулятор нечеткой логики в систему управления, является одним из самых перспективных направлений исследований. Эта инновационная система эффективно решает целый ряд проблем, включая надежность, точность и скорость работы.

Литература

1. K. Sundareswaran, V. Vigneshkumar, P. Sankar, S. P. Simon, P. Srinivasa Rao Nayak, and S. Palani, "Development of an Improved P&O Algorithm Assisted Through a Colony of Foraging Ants for MPPT in PV System," IEEE Trans. Ind. Inform., vol. 12, no. 1, pp. 187–200, 2016.
2. R. B. A. Koad, A. F. Zobaa, and A. El-Shahat, "A Novel MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems," IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 8, no. 2, pp. 468–476, 2017.
3. M. S. Jamri, A. M. Kassim, and M. R. Hashim, "A voltage mode control maximum power point tracking for stand-alone photovoltaic system," Appl. Mech. Mater., vol. 313–314, pp. 503–507, 2013.
4. Nkambule, M.; Hasan, A.; Ali, J.A. Proportional study of Perturb & Observe and Fuzzy Logic Control MPPT Algorithm for a PV system under different weather conditions. In Proceedings of the IEEE 10th GCC Conference and Exhibition, Kuwait City, Kuwait, 19–23 April 2019.
5. Reddy, D.C.K.; Satyanarayana, S.; Ganesh, V. Design of Hybrid Solar Wind Energy System in a Microgrid with MPPT Techniques. Int. J. Electr. Comput. Eng. 2018, 8, 730–740.
6. Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная // Альтернативная энергетика и экология – 2015. – № 8-9 – С. 12-18.
7. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Аржанов В.В., и др. Автоматизированная фотоэлектрическая установка с повышенной энергетической эффективностью // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24). – С. 282-287.

Сведения об авторах:

Диёрзода Рустам Хакимали – 1986 г.р., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на основе машины двойного питания.

Шарифов Бохирджон Насруллоевич – 1989 г.р., ассистент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими.

Давлатов Абдулманон Абдулфатохевич – 2001 г.р., магистрант кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими,

Чалолзода Эхсон Абдулхамид – 2001 г.р., магистрант кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими.

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Романенко П. А., Козлова Н. С.

*Самарский государственный университет путей сообщения, СамГУПС,
г. Самара, Россия*

Аннотация: *В статье рассматриваются факторы, способные влиять на организацию безопасного производственного процесса, и предоставлен способ анкетирования работников с помощью методик Шуберта и Шмелева, позволяющих определить склонность работников к рискованному поведению.*

Ключевые слова: *склонность к риску, производственный травматизм, безопасность труда.*

SOLVING THE ISSUES OF OCCUPATIONAL INJURIES AT ENERGY ENTERPRISES

Annotation: *The article examines the factors that can influence the organization of a safe production process, and provides a way to survey employees using the methods of Schubert and Shmelev, which determine the propensity of employees to risky behavior.*

Keywords: *risk-taking, occupational injuries, occupational safety.*

В условиях развития современного мира, с его стремительным развитием и растущей потребностью в энергии, роль энергетических предприятий становится все более значимой для экономического роста и развития стран. Энергетика является основой для обеспечения жизнедеятельности всех отраслей и экономики.

Научно-технический прогресс в области энергетики требует постоянного совершенствования подходов к управлению и использованию человеческих ресурсов. Важным аспектом является применение современных методов психологии труда, которые позволяют повысить эффективность работы сотрудников.

Работа энергетических предприятий, непосредственно связанная с эксплуатацией и обслуживанием различных устройств, протекает в условиях повышенной опасности. Рост спроса на электроэнергию обуславливает увеличение нагрузки, в том числе психологической, на работников предприятий. Часто это приводит к нарушениям правил охраны труда, а также к несчастным случаям на производстве.

Производственный травматизм является серьезной проблемой для предприятий. Работа по эксплуатации и обслуживанию устройств связана с

риском и опасностью, поскольку выполняется на высоте, под напряжением, с применением сложных инструментов и оборудования.

Для предупреждения производственного травматизма значительные средства направляются на защиту жизни и здоровья работников, обеспечение безопасности их труда и создание благоприятных условий для работы [1].

Производственный травматизм в энергетической отрасли может быть вызван различными опасными и вредными факторами, среди них:

- человеческий фактор;
- падение с высоты;
- электрический ток;
- химические вещества;
- механические инструменты;
- физическая перегрузка;
- плохие условия труда (шум, отсутствие вентиляции, недостаточная освещенность и т.д.) [2].

Доля случаев с тяжелыми последствиями и смертельными исходами остается достаточно высокой, и требует принятия мер для предотвращения травматизма. Необходимо продолжать работу по обеспечению безопасности на производстве и повышению качества технической учебы и компетентностного развития персонала.

Практика подтверждает существенное влияние человеческого фактора, как одной из основных причин несчастных случаев. Поведение человека на рабочем месте определяется не только его профессиональными знаниями и опытом, но также и его психическими функциями. Для минимизации мешающего влияния психофизиологических факторов следует использовать стратегию оценки и уменьшения рисков.

Анализируя различные методы исследования личностных качеств работников, следует выделить методы тестирования Шуберта и Шмелева.

Методика тестирования Шмелева заключается в проведении анкетирования участников, где каждый участник отвечает на 50 вопросов. Вопросы представляют собой утверждения, с которыми участник тестирования может согласиться или не согласиться. Результаты тестирования показывают уровень развития коммуникативных навыков участника, а также количественный показатель предрасположенности к риску.

Методика тестирования Шуберта состоит из 25 вопросов, и в каждом вопросе предлагается выбрать один ответ из нескольких вариантов. Данная методика используется для определения уровня стрессоустойчивости и поведенческой склонности к риску, а также социальной адаптации работника.

Для выявления склонности к риску работников дистанции электроснабжения были использованы тесты Шуберта и Шмелева - широко используемые методы, позволяющие оценить индивидуальную склонность к небезопасным действиям и принятию необдуманных решений. По результатам анкетирования в дистанции сформирована группа риска работников, склонных к опасным поведенческим проявлениям. Проведенный анализ производственной деятельности этого электротехнического персонала показал, что часть сотрудников допускала на практике нарушения правил охраны труда. Такие работники требуют особого внимания со стороны руководства, специалистов службы охраны труда. Данные методики позволят разработать персонализированный подход к проведению дополнительного обучения и тренингов, специально направленных на повышение осознанности и ответственности в работе.

Заключение

Решение вопросов производственного травматизма на энергетических предприятиях требует комплексного подхода. Важно систематически проводить анализ причин травм и несчастных случаев, обучать и повышать квалификацию персонала, использовать современное оборудование и технологии, создать систему контроля. Рекомендуется внедрить мониторинг психофизиологического состояния работников с помощью методик Шуберта и Шмелева. Активное привлечение сотрудников к процессу организации безопасного производства позволит добиться снижения производственного травматизма и повысит безопасность на предприятиях.

Литература

1. Козлова Н. С. Управление рисками на транспорте с учетом человеческого фактора / Экономика и предпринимательство. - 2023.-№2(151). - С.1099-1104
2. Козлова Н. С., Скольский А. В. Определение склонности к риску как фактора влияния на безопасность труда на предприятиях транспортной отрасли / Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. - 2022.-№2(5).-С.315

Сведения об авторах:

Романенко П.А. – студент 5-го курса, группы СОДП-94 факультет «Электротехнический факультет», Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС)

Козлова Н.С. – к.т.н, доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС). Email: kozlovans63@yandex.ru

РОҶ БА СӮИ ТЕХНОЛОГИЯҶОИ ҲОЗИРАЗАМОН

*Аминов Ш.А. Маҳкамова И.И.
ДТТ ба номи академик М.С. Осмӣ*

Аннотатсия: Дар ин мақолаи мазкур муаллиф оиди стандартҳои насли сеюми ва чоруми хидматрасони мултимедиявӣ ва бо суръатҳои баланд интиқол дода мешавад шарҳ дода аст. 20 сол пеш барои қонеъ кардани эҳтиёҷоти корбар бо суръати интиқоли маълумот ва маҷмӯи хидматҳо, ба стандарти нави, насли чаҳорум ниёз доштанд. Ва ниҳоят, ин технология дар Аврупо ба шакли мушаххас дар ҳар суръат шурӯъ гардид.

Шумораи муштариёни системаҳои алоқаи мобилӣ хеле босуръат меафзоянд; сатҳи воридшави технология дар як қатор кишварҳо аллакай бо даҳҳо фоиз чен карда шудаанд. Яке аз муҳимтарин муқаррароти марбут ба стандарти насли нав бо воситаи технологияи TD-CDMA бартариҳои муайян дорад.

Калидвожаҳо: Стандарт, мултимедия, телекоммуникатсия, эволютсия, технология, интерфейс, роуминг, терминал.

НА ПУТЬИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИИ

Аннотация: В этой статье автор рассказывает о стандартах третьего и четвертого поколения мультимедийных услуг, которые передаются на высоких скоростях. 20 лет назад нужен был новый стандарт четвертого поколения, чтобы удовлетворить потребности пользователя в скорости передачи данных и наборе сервисов. И, наконец, эта технология начала формироваться в Европе с любой скоростью.

Количество абонентов систем мобильной связи растет очень быстро; темпы проникновения технологий в ряде стран уже измеряются десятками процентов. Одно из важнейших положений, касающихся стандарта нового поколения с технологией TD-CDMA, имеет определенные преимущества.

Ключевые слова: Стандарт, мультимедиа, телекоммуникации, эволюция, технология, интерфейс, роуминг, терминал.

THE WAY TO CURRENT TECHNOLOGY

Annotation: In this article, the author explains about the standards of the third and fourth generation of multimedia services, which are transmitted at high speeds. 20 years ago, a new standard, the fourth generation, was needed to meet the needs of the user with the speed of data transfer and the set of services. And finally, this technology began to take shape in Europe at any speed.

The number of subscribers of the mobile communication system is growing very quickly; The rate of technology penetration in some countries is already measured by tens of percent. One of the most important provisions concerning the new generation standard with TD-CDMA technology has certain advantages.

Key words: *Standard, multimedia, telecommunications, evolution, technology, interface, roaming, terminal.*

Стандартҳои насли сеюм доираи васеъро таъмин мекунад, хидматрасонии мултимедиявӣ ва суръати маълумот то 14Мб/сонияро иҷро мекунад. Ин ба дархостҳои ҷорӣ муштариён мувофиқат мекард. Аммо, ҳаҷми маълумот дар шабакаҳои телекоммуникатсионӣ рӯз аз рӯз меафзояд. 20 сол пеш барои қонё қардани эҳтиёҷоти қорбар бо суръати интиқоли маълумот ва маҷмӯи хидматҳо, ба стандарти нави, насли чаҳорум ниёз доштанд.⁶



Рас. 1. Эволюсияи шабакаи 4G

Ҳар сола гуфтугӯ дар байни системаҳои мобили наслҳои оянда идома дорад. Ва ниҳоят, ин технология дар Аврупо ба шакли мушаххас дар ҳар суръат шурӯъ гардид. Ҳодисае рух додааст, ки рушди минбаъдаи алоқаи мобилӣ дар Аврупо санаи 28-29 январ дар Париж баргузор шуд, чаласаи Аврупои оид ба телекоммуникатсия (ETSI, European Telecommunications Standards Institute) Институти стандартҳои телекоммуникатсионӣ қарор қабул кард, самтҳои асосии рушди стандартҳои нав барои интерфейси радио дар системаҳои алоқаи мобилии насли оянда бо номи UMTS (Universal Mobile Telephone Service). Стандарти нави UTRA (UMTS Terrestrial Radio) ба Иттиҳодияи Байналмилалӣ интиқол дода мешавад. Телекоммуникатсияи (ITU) ҳамчун барномаи аврупоӣ барои технологияи интерфейси радиои IMT-2000, стандарти ҷаҳонӣ системаҳои алоқаи мобилии насли оянда мебошад.

Якчанд сабабҳои нави стандарти ҷаҳонӣ вучуд дорад. Шумораи муштариёни системаҳои алоқаи мобилӣ хеле босуръат меафзоянд; сатҳи

воридшави технология (яъне шумораи истифодабарандагони мобилӣ ҳамчун фоизи шумораи умумии аҳоли) дар як қатор кишварҳо аллакай бо даҳҳо фоиз чен карда шудаанд. Дар ин ҳол, ИМА, Ҷопон, Финляндия тамоман пешсаф нест: 45% аҳоли дар инҷо хидматҳои мобилиро истифода мебаранд. Агар суръати афзоиши шумораи муштариён тағир намеёбад, пас зарфияти системаҳои насли дуюм (GSM, TDMA) шояд кифоя набошад. Минбаъд ташкили роуминги ҷаҳонӣ лозим аст. Муштарӣ бо телефони мобилӣ дар кадом кишваре бошад, бояд хидматҳои дастрасӣ иртиботи пайдо кунад. Аз чумла, зарур аст, ки барномаҳои мултимедиявӣ таъмин карда шавад. Арзишҳои хоси гузариш инҳоянд: 144 Мбит/сония барои муштарӣ зуд ҳаракаткунанда, 384 Мбит/сония барои пиёдагардон, 2 Мбит/сония барои терминалҳои собит. Ин бояд имконпазир бошад мубодилаи ҳаракати асимметро ба ёд оред, ки ҳоло стандарти GSM на бештар аз 9600 кбит/с, медиҳад ва ин одатан муҳимтарин номида мешавад, ки маҳдудиятҳои васеи дастрасӣ ба Интернет тавассути интизори меравад, технологияи мубодилаи дучонибаи паёмнависӣ, дастрасӣ ба Internet барои таъмини истифода.

Тахмин меравад, ки дар доираи IMT-2000 диапазонҳои басомадҳо 1885-2025 ва 2110-2220 МҲс тақсим карда хоҳанд шуд. Дар ИМА, баъзе аз ин басомадҳоро аллакай ба системаҳои муоширати шахсӣ (PCS, системаи шахсӣ), бо стандарти нав дар тамоми ҷаҳон ҷудо карда шудаанд.

Баъдан гурӯҳи кории фармоишии махсуси PCS мушаххасоти интерфейси радиои IMT-2000-ро таҳия менамояд. Дар назар аст ин фаъолият то охири соли 1999 ба итмом мерасад. Аммо бозгашт ба Аврупо кор аз рӯи лоиҳаи UMTS соли 1992 оғоз ёфт. Шарҳи ETSI панҷ технологияи алтернативиро пешниҳод кард: WCDMA, OFDM, W-TDMA, TD-CDMA ва ODMA. Муборизаи асосӣ байни якдигар ҷараён гирифт тарафдорони WCDMA ва TD-CDMA. Ericsson аввалин шуда WCDMA-ро пешбарӣ кард Ericsson чанд сол аст, ки дар соҳаи CDMA ва Nokia таҳқиқот мегузаронад. TD-CDMA таҳия кардааст, ки ҷомеаи ба монанди ҷунинин ширкатҳои Motorola, Siemens, Alcatel, Bosch, Italtel, Nortel ва Sony бошанд.

Мувофиқи қоидаҳои тартиботи қабулкардаи ETSI, барои тасдиқ ба мисли технологияи стандартӣ бояд 71% овозҳоро мегирифт. Аммо на WCDMA ва на TD-CDMA ин монандро баргараф карда натавонистанд: яқум бештар аз 61%, дуюм - каме камтар аз 39% овозҳо. Аз ин рӯ, ҳалли созиш тавассути технологияи UTRA WCDMA бояд барои тасмаҳои ҷуфтшуда (FDD, Frequency Division Duplex) ва TD-CDMA барои тасмаҳои басомади тақсимнашуда (TDD - Duplex Time Duplex) истифода мешаванд.

Аз нуқтаи назари корбар, маънои онро дорад, ки барои муошират бо телефонҳои мобилӣ корбароне, ки берун аз биноҳо ҳаракат мекунанд, WCDMA-ро истифода мебаранд ва барои корбарони собит барои тамос дар дохили биноҳо TD-CDMA-ро. Мувофиқи талаботи UTRA, терминалҳои муштарии мобилӣ бояд дастгирӣ карда шаванд ҳарду намуди, TDD ва FDD-ро.

Яке аз муҳимтарин муқаррароти марбут ба стандарти насли нав, даст кашидан аз инфрасохтори рушдфтаи шабакавӣ, ки дар Аврупо сохта шудааст, қобили қабул нест GSM аз ин нуқтаи назар, технологияи TD-CDMA бартариҳои муайян дорад. Дар мавриди WCDMA, дар ин ҷо, эҳтимолан, мутобиқат бо GSM пешбинӣ шудааст, тавассути истифодаи терминалҳои муштарии таъмин менамояд; дастгирии технологияҳои интерфейси радио ин метавонад ба болоравии нархи телефонҳои мобилӣ оварда расонад. Ин он аст, ки болоравии нархҳои муштарӣро пешгирӣ кунад. Баръакс, ин аз байн бурдани хатти байни телефонҳои мобилӣ нест, дар дурнамо байни телефонҳои мобилӣ ва хонагӣ набояд фарқият вучуд дошта бошад. Дар айни замон, UTRA, PCS технологияи таҳиякардаи "гурӯҳи чоргоник" - ширкатҳои Lucent, Motorola, Nortel ва Qualcomm - ва рушди стандарти cdmaOne мебошанд ва истифода мебаранд.

Адабиётҳо

1. Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. - М: Горячая линия - Телеком, 2007.
2. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. - М.: Техносфера, 2009.
3. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
4. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. - СПб.: БХВ - Петербург, 2010.
5. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. - М.: Техносфера, 2007.

Маълумот дар бораи муаллифон

Аминов Шамсуло Асоевич – номзади илмҳои техники, дотсенти кафедраи физика Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ.

Махкамова Ишқинисо Иномовна - унвонҷӯ, омӯзгори калони кафедраи технологияи иттилоотӣ ва амнияти иттилоотӣ, факултети дипломатия ва сиёсати Академияи идоракунии давлатии назди Президентии Ҷумҳурии Тоҷикистон.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

*Соловьев С.Д., Козлова Н.С.
СамГУПС, г. Самара, Россия
E-mail: kozlovans63@yandex.ru*

Аннотация: В статье рассмотрены факторы, влияющие на культуру безопасности на транспортном предприятии. Представлены статистические данные производственного травматизма. Предложены методы по повышению культуры безопасности на транспортных предприятиях.

Ключевые слова: безопасность труда, культура безопасности, охрана труда, производственные риски.

Annotation: The article examines the factors influencing the safety culture at a transport enterprise. The results of an analysis of industrial injury statistics are presented. Based on the results obtained, methods are proposed to improve safety culture at transport enterprises.

Key words: labor safety, safety culture, labor protection, production risks.

Международная организация труда (МОТ) сообщает, что ежегодно происходит 340 миллионов несчастных случаев на производстве и 160 миллионов человек страдают от профессиональных заболеваний. Такие тревожные цифры можно объяснить отсутствием развитой культуры безопасности и пренебрежением нормами охраны труда.

Железнодорожная инфраструктура является опасной средой, особенно в сфере электроснабжения. Во время проведения ремонтных и монтажных работ повышаются риски возникновения производственного травматизма, таких как наезд подвижного состава и поражение электрическим током. Очевидно, важно предпринимать все необходимые меры предосторожности для обеспечения безопасности работающих на линии.

АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РФ

Безопасность производственных процессов на предприятиях электроснабжения железнодорожного транспорта (ЭЖТ) обеспечивается не только соблюдением технологических регламентов, но и практической реализацией культуры безопасности. Последняя включает в себя не только свод требований и норм, но и, в первую очередь, осознанное поведение каждого работника на предприятии при производстве работ на объектах инфраструктуры.

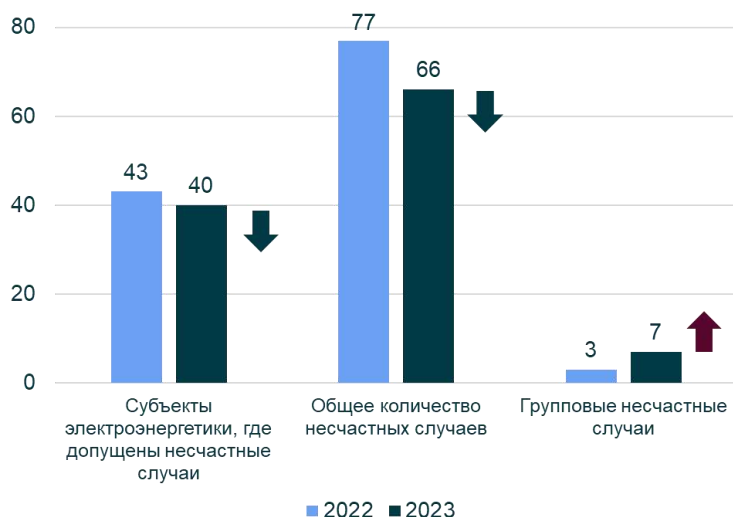


Рис. 1 – Общие показатели производственного травматизма в электроэнергетике в I полугодии 2023 года

Анализируя статистику производственного травматизма в электроэнергетике России за I полугодие 2023 года (Рисунок 1) [1] можно сделать вывод, что количество несчастных случаев на производстве незначительно снизилось по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Однако, следует отметить, что количество групповых несчастных случаев значительно увеличилось. Это говорит о необходимости рассмотрения и внедрения методов повышения культуры безопасности на производстве. Культура безопасности производства охватывает ценности, идеи и принципы, составляющие основу управления охраной труда, а также реализацию и поведенческие реакции на эти принципы [2].

К современным «инструментам» культуры безопасности труда относятся:

1) Содействие безопасному поведению сотрудников. Сотрудники должны понимать, что их собственное здоровье является их основной ответственностью, и развивать естественную склонность к безопасному поведению во всем, что они делают.

2) Создание безопасных условий труда: работодатели должны обеспечить безопасные условия труда, соответствующие нормативным требованиям и их внутреннему пониманию, обеспечивающие защиту от внешних факторов и наличие средств индивидуальной защиты, зон отдыха, санузлов, зон отдыха и т.п.

3) Ответственное руководство.

Среди этих инструментов самым простым является создание безопасных условий труда, включающее физические изменения, например защита от шума, пыли, химикатов, улучшение условий труда и т.д. [3]

Однако продвижение культуры естественного безопасного поведения является непростой задачей. В игру вступают различные факторы: образование, воспитание, мышление, сознание, уровень развития и подготовленности личности как специалиста. Важно отметить, что для рабочих профессий существуют различный уровень восприятия и развития риска. Для снижения

рисков необходим всесторонний контроль над рабочими процессами в зоне ответственности при этом сотрудники лично ответственны за обеспечения безопасности как на работе, так и вне ее.

Управленческое лидерство является решающим фактором в создании культуры безопасности. Поведение руководителей заметно влияет на поведение сотрудников и служит примером для подражания. Если сотрудники станут свидетелями того, как менеджеры пренебрегают мерами безопасности, такими как средства индивидуальной защиты или ремни безопасности, или проявляют небрежность в отношении условий труда, они с большей вероятностью будут имитировать такое поведение. И наоборот, когда старшие и линейные менеджеры ставят во главу угла благополучие сотрудников и демонстрируют позитивное отношение к безопасности, сотрудникам будет предложено принять и повторить этот подход [4].

Недопустимо на предприятиях электроэнергетики поддерживать «культуру молчания», когда сотрудники не решаются сообщать о проблемах своему начальству, опасаясь последствий. В этом случае менеджеры могут оставаться в неведении о масштабах травматизма на рабочем месте.

Работники проходят обучение и инструкции на опасных объектах, однако между осознанием обязанностей и их фактическим выполнением может возникнуть значительное расхождение [5].

Важно организовать надлежащее обучение непосредственных руководителей. Поведение лидеров сильно влияет на сотрудников, и исследования показывают, что сотрудники склонны подражать своим лидерам.

Эта ответственность распространяется на менеджеров разных уровней в крупных организациях.

Функции руководства в обеспечении культуры безопасности должны включать:

- Разработку политики безопасности и широкую публикацию для ознакомления всеми сотрудниками;
- проведение систематического обучения;
- организацию аудитов безопасности;
- анализ и оценку рисков;
- поощрение инициатив по повышению безопасности труда.

Необходимо добиваться безукоризненного соблюдения принципов безопасности, которые провозглашают приоритет безопасности, дисциплину и ответственность, атмосферу доверия. Каждый сотрудник должен стремиться к повышению профессионализма и квалификации, к соблюдению инструкций и регламентов, осознанию важности самоконтроля.

Заключение

Для железнодорожников-энергетиков культура безопасности имеет особое значение, поскольку их работа протекает в сложных условиях с возможностью возникновения опасности каждый день. Практическое воплощение культуры безопасности позволяет сотрудникам электроснабжения

железнодорожного транспорта работать более эффективно, а следовательно значительно повышать уровень результативности труда.

Культура безопасности способствует формированию атмосферы ответственности и взаимопомощи – факторов минимизации рисков и повышения уровня доверия пассажиров к компании.

Литература

1. Обзор производственного травматизма в электроэнергетике Российской Федерации в I полугодии 2023 года (<https://mpei.ru/AboutUniverse/OfficialInfo/Orders2023/MPEI-23-721.pdf>);

2. Егоров, А.Ф. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая. — М.: КолосС, 2018.;

3. Кукин, В.Л. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда / В.Л. Кукин. — М.: Высшая школа, 2017;

4. Егоров, А.Ф. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая. — М.: КолосС, 2018.;

5. Козлова Н. С., Соловьев С. Д. Классификация и причины производственных рисков/ Наука и культура России – 2022 – Т.1 – С.224 – 226.

Сведения об авторах

Козлова Н.С. – доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Самарского государственного университета путей и сообщения.

Соловьев С.Д. – студент 5-го курса, группы СОДП-94 кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Самарского государственного университета путей и сообщения.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ОДНОФАЗНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В ЛИНИЯХ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОЛУФАЗАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ШУНТИРОВАНИЯ ФАЗЫ

Махмудов К.А.

Научный руководитель – д-р техн. наук, доцент Красильникова Т.Г.
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

E-mail: mahmudovkaromat@gmail.com

***Аннотация:** В работе рассматриваются вопросы расчета вторичных токов дуги при осуществлении ОАПВ при использовании автоматического шунтирования фазы для ликвидации неустойчивых однофазных повреждений в линиях сверхвысокого напряжения 500 кВ с параллельными полуфазами.*

***Ключевые слова:** Однофазное автоматическое повторное включение, параллельные полуфазы, автоматическое шунтирование фазы, вторичный ток дуги, восстанавливающиеся напряжений, бестоковая пауза.*

IMPLEMENTATION OF THE SPhAR IN CIRCUITS WITH CONTROLLED SHUNTING REACTORS ON OHL WITH PARALLEL HALF-PHASES

***Abstract:** The paper discusses the issues of calculating secondary arc currents during the implementation of SPhAR using automatic phase shunting to eliminate unstable single-phase faults in 500 kV extra-high voltage lines with parallel half-phases.*

***Keywords:** Single-phase automatic reclosing, parallel half-phases, automatic phase shunting, secondary arc current, transient recovery voltage, dead time.*

Как показал анализ [1, стр. 51], ОАПВ с использованием НШР для ликвидации неустойчивых ОКЗ решает эту проблему не лучшим образом. Для линий длиной порядка 500 км бестоковая пауза в ряде случаев превышает 1,0 сек. Для создания оптимальных условий при ликвидации неустойчивого ОКЗ, НШР должны оснащаться батареей конденсаторов, установленной со стороны нейтральных выводов реакторов и шунтированной в нормальном режиме выключателем.

Кроме того, ОАПВ с использованием НШР имеет ряд следующих недостатков:

- в режиме ОАПВ из-за отсутствия определенного количества ШР

возможно появления резонансных повышений напряжения;

– невозможность осуществления ОАПВ в случае отказа одной из фазных выключателей при коммутации реакторных выключателей;

– снижение пропускной способности электропередачи по причине снижения напряжения на шинах при подключении НШР.

Избавиться от этих недостатков, а также повысить эффективность и надежность ликвидации неустойчивых ОКЗ позволяет другой способ, а именно, ОАПВ с использованием автоматического шунтирования аварийной фазы (АШФ) с помощью быстродействующих шунтирующих выключателей [2,3].

Рис.1 поясняет схему проведения ОАПВ с АШФ. При возникновении ОКЗ на линии аварийная фаза отключается линейными выключателями В1 и В2, и затем с минимальной задержкой она шунтируется по концам линии шунтирующими выключателями ШВ1 и ШВ2. В результате создаются благоприятные условия для гашения вторичной дуги. В конце паузы ОАПВ с АШФ происходит расшунтирование фазы, и с минимально возможной задержкой включаются линейные выключатели.

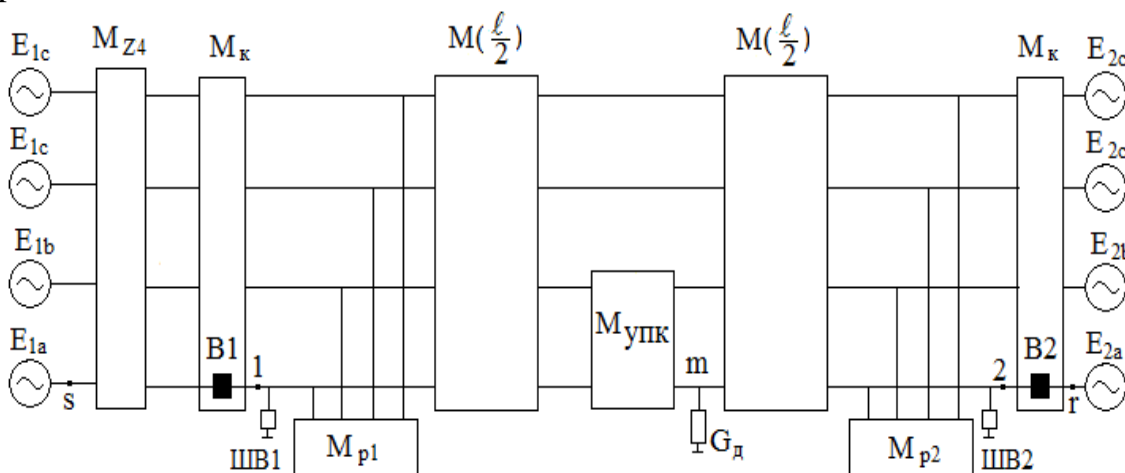


Рис.1. Схема осуществления ОАПВ с АШФ

В промежутке между расшунтированием фазы и включением линейных выключателей (период расшунтирования), который составляет порядка 0,10 сек, на аварийной фазе начинается процесс восстановления напряжений, который имеет характер биений. В общем случае продолжительность воздействия на ОПН максимальных ВН в период расшунтирования может составлять 0,1 сек. При такой длительности по условию безопасной работы ОПН допускаются повышения напряжений такой длительности не более 255 кВ.

Таким образом, расчетный алгоритм должен включать не только анализ режима после шунтирования фазы, но и оценку ВН после её расшунтирования.

Анализ восстанавливающихся напряжений и вторичных токов дуги

Используя описанный алгоритм [1, стр. 73], оценим ВТД в средней части линии при аварийной ситуации в фазах и полуфазах.

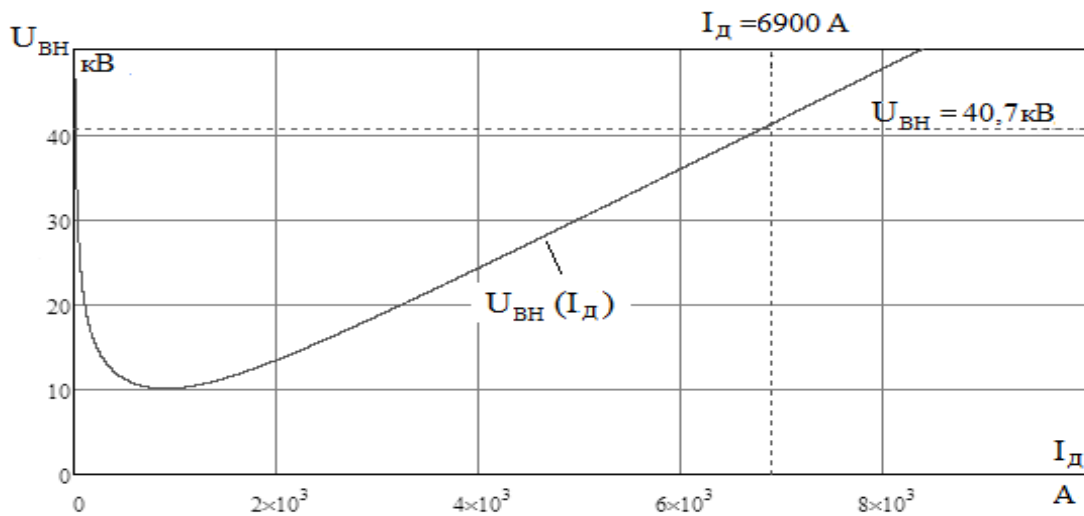


Рис. 2. Определение условий для гашения ВТД (ОАПВ на Фа)

Как следует из рисунка 2 ВТД намного превосходит 60 А, при котором дуга имеет устойчивый характер. Для создания условий, при которых обеспечивается гашение дуги, следует в паузу ОАПВ зашунтировать УПК в аварийной фазе «а» (Рисунок 3). При этом длительность паузы ОАПВ достаточно принять минимальной, равной 0,5 сек.

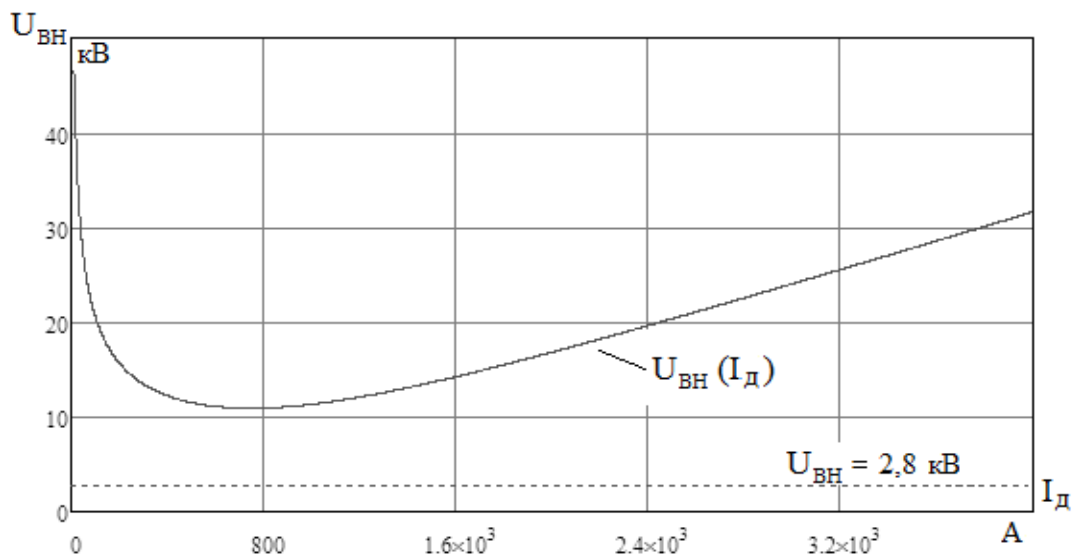


Рис. 3. Определение условий для гашения ВТД (ОАПВ на Фа), УПК зашунтирована

Как было отмечено выше, одним из ограничений при проведении успешного ОАПВ с АШФ является отсутствие недопустимых (выше 255 кВ) воздействующих напряжений на ОПН при расшунтировании фазы или полуфазы. Определяющим при этом фактором является общее число

подключённых к линии НШР.

Как следует из таблицы 1, условия близкие к резонансным имеют место при расшунтировании фаз, когда к линии подключено три НШР, а в случае расшунтирования полуфаз ограничение на число подключенных к линии НШР отсутствует.

Таблица 1 – Воздействия на ОПН при расшунтировании в зависимости от числа установленных НШР на линии

Количество 4-фазных НШР на ВЛ	Наибольшие напряжения, воздействующие на ОПН, при расшунтировании фазы или полуфазы (кВ)			
	Фа	Фб	ПФс1	ПФс2
0	106	111	47	53
1	89	159	74	46
2	182	211	115	126
3	1606	5020	213	93
4	162	184	58	66

Заключение

Показано, что если для компенсации зарядной мощности линии в нормальных режимах предусмотрены неуправляемые шунтирующие реакторы, то для осуществления успешного ОАПВ с длительностью бестоковой паузы не более 0,5 сек рекомендуется использовать автоматическое шунтирование аварийной фазы по её концам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), научный проект № С23-28.

Список литературы

1. Махмудов К.А. Исследование однофазного автоматического повторного включения в четырёхпроводных трёхфазных линиях сверхвысокого напряжения: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: Из-во НГТУ, 2023.
2. Shperling, B. R. Compensation Scheme for Single-pole Switching on Untransposed Transmission Lines / B. R. Shperling, A. Fakhery, B. J. Ware // IEEE Transaction on Power Apparatus and System. – July-Aug., 1978. – Vo1. PAS-97, iss. 4. – P. 1421–1429.
3. Shperling, B.R. Single-pole Switching Parameters for Untransposed EHV Transmission Lines / B.R. Shperling, A. Fakhery // IEEE Transaction on Power Apparatus and System. – Mar.-Apr. 1979. – Vo1. PAS-98, iss. 2. – P. 643–654.

Сведение об авторах:

Махмудов Кароматулло Азизович – аспирант кафедры автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета. E-mail: mahmudovkaromat@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА УСИЛЕНИЯ ЛИМИТИРУЮЩИХ МПЗ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТЭ УЧАСТКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ

Фаренык В.В.

Востриков М.В., научный руководитель

*(Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал
федерального государственного образовательного учреждения высшего
образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИрГУПС), г. Чита, Россия)*

E-mail: aspirin1979@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы влияния графика движения поездов на пропускную способность участка железной дороги при различных вариантах и объемах усиления лимитирующих межподстанционных зон (МПЗ). Оценка объемов необходимого усиления производилась в ПК «КОРТЭС» с учетом требований Распоряжения ОАО «РЖД» № 2718р и режимными картами пропускной способности участка Кижса – Архара Забайкальской железной дороги. Проведённый анализ позволил выделить три категории мероприятий, которые в зависимости от объема финансирования позволят пропускать длиннооставные и тяжеловесные поезда с интервалом, при котором основные параметры режимов работы системы тягового электроснабжения (СТЭ) рассматриваемого участка железной дороги будут соответствовать нормируемым значениям.*

***Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, лимитирующая межподстанционная зона, энергосбережение, энергетическая эффективность, график движения поездов, тяговые расчеты, пропускная способность, усиление.*

INFLUENCE OF THE VOLUME OF STRENGTHENING LIMITING MPZ ON THE EFFICIENCY INDICATORS OF THE OPERATION OF THE STEEL SITE WHEN ORGANIZING HEAVY TRAFFIC

***Annotation.** The article discusses the impact of train schedules on the capacity of a railway section with various options and volumes of reinforcement of limiting substation zones (MPZ). The assessment of the volume of necessary reinforcement was carried out in the KORTES PC, taking into account the requirements of the Order of JSC Russian Railways No. 2718r and the regime maps of the capacity of the Kizha – Arkhara section of the Trans-Baikal Railway. The analysis made it possible to identify three categories of measures that, depending on the amount of funding, will allow long- and heavy-weight trains to pass at an interval at which the main*

parameters of the modes of operation of the traction power supply system (STE) of the railway section in question will correspond to the normalized values.

Keywords: *traction power supply system, limiting substation zone, energy saving, energy efficiency, train schedule, traction calculations, throughput, reinforcement.*

Приоритетными задачами Энергетической стратегии холдинга «РЖД» [1] являются:

- полное и надежное энергетическое обеспечение перевозочного процесса, снижение рисков при кризисных ситуациях в энергообеспечении железнодорожного транспорта;
- значительное повышение показателей энергетической эффективности всех сферах деятельности (тяга поездов, инфраструктура, ремонт, производство);
- оптимизация энергозатрат в стационарной энергетике;
- качественное улучшение структуры управления потреблением ТЭР на основе использования современных информационных технологий, систем учета, нормирования и мониторинга потребления ТЭР;
- использование альтернативных возобновляемых энергоресурсов, создание мощностей собственной генерации энергии на нетяговые нужды и внедрение емких накопителей энергии и т.д.

Исследование показателей СТЭ при проведении усиления лимитирующих МПЗ было решено проводить в зависимости от графика движения поездов, массы поездов и межпоездного интервала между ними.

Исполненный график содержит периоды, когда его можно характеризовать как детерминированный, или как вероятностный. Для детерминированного графика можно наперед указать межпоездные интервалы, чаще всего он имеет место в периоды сгущения поездов при восстановлении нормального графика движения после окна, когда в нем не остается свободных нитей, которые бы давали возможность для варьирования числа поездов на рассматриваемом участке.

Вероятностный или случайный график движения в большей степени отвечает нормальному режиму движения, когда интервалы выпускаемых поездов на участке подвержены случайным изменениям и потому не могут быть предсказаны заранее. Однако межпоездные интервалы вероятностного графика подчиняются некоторой вероятностной закономерности, что позволяет «разыгрывать» эти интервалы при имитации.

Детерминированные графики определяют наибольшие нагрузки на устройства железной дороги и систему тягового электроснабжения в частности. Следовательно, такие графики являются расчетными для определения предельных возможностей СТЭ. Время, в течение которого имеют место такие графики движения, все же незначительное по сравнению с тем периодом, когда поезд движется в нормальном режиме.

Рациональные области применения детерминированных графиков определяются необходимостью оценки режимов работы в наиболее нагруженные периоды (пакетный график движения в период восстановления нормального графика после «окна»), случайные графики следует использовать для технико-экономических оценок работы СТЭ [2].

За расчетный был принят участок Тарбагатай – Лесная (рис. 1).

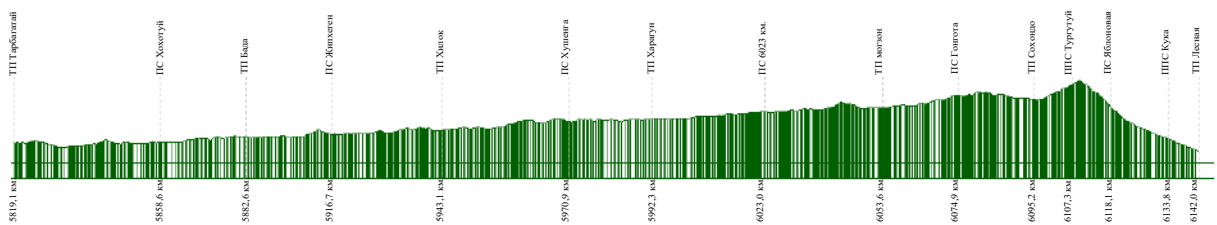


Рис.1. Продольный профиль пути участка и расположение отдельных пунктов

На первом этапе были проведены тяговые расчеты для поездов различной массы с использованием электровозов серии ВЛ-80^с [3]. Анализируя кривые, можно сделать вывод о том, что значения тока, протекающие в контактной сети, составляют порядка 600 А, а с увеличением весов поездов это значение будет расти (рис. 2).

Схема питания и секционирования контактной сети участка – узловая, тип контактной подвески ПБСМ-70 + МФ-100, имеются вставки усиливающего провода А-185, режим работы трансформаторов тяговых подстанций - параллельный. Предварительные расчеты выявили межподстанционную зону, лимитирующую по уровню напряжения в контактной сети, а, следовательно, ограничивающую общую пропускную способность участка.

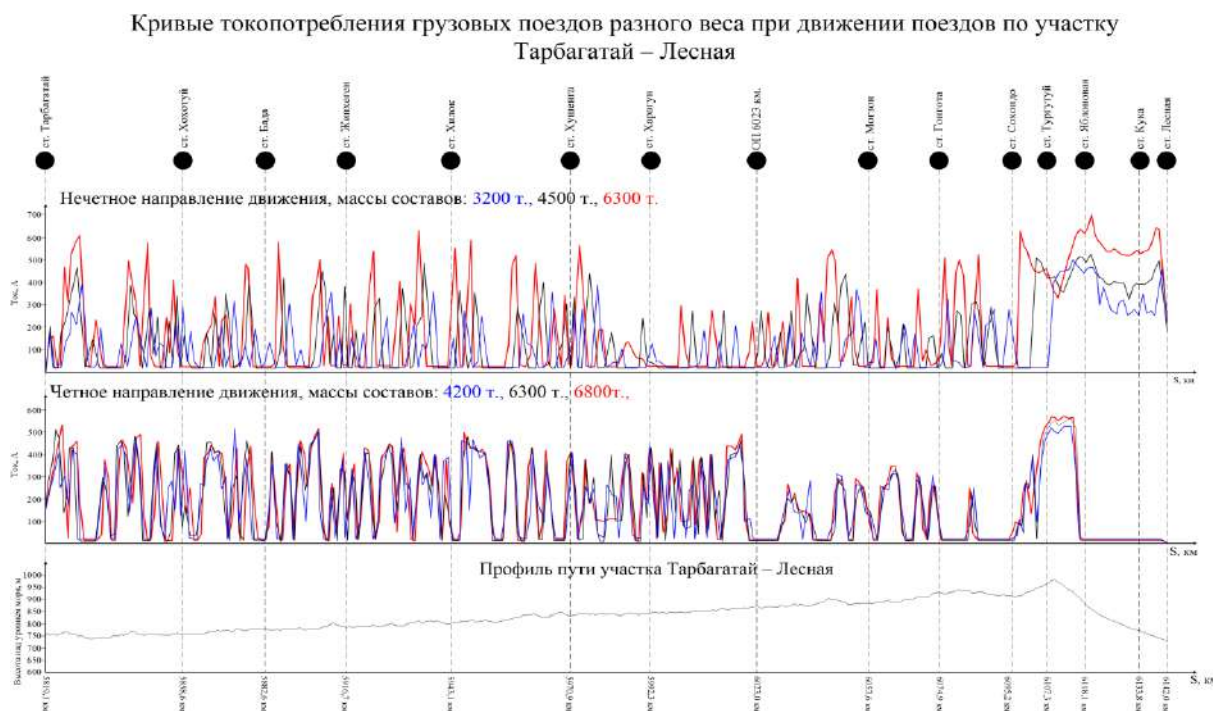


Рис.2. Кривые токопотребления поездов разного веса при движении по участку

Таблица 1 – Результаты расчета наличной пропускной способности

Лимитирующая МПЗ	U_{\min} , кВ	Q, мин	N, пар	$\Delta P_{\text{тс}}$, кВт·ч	$\Delta P_{\text{тр}}$, кВт*ч	I_{\max} , А	$T_{\text{ф}}$, °С
Тарбагатай – Бада	21,09	17	78	45212	4674	913	67

При проведении исследования были рассмотрены следующие варианты усиления лимитирующей зоны:

- 1) подвешивание усиливающего провода (УП) на путь с наименьшим уровнем напряжения лимитирующей МПЗ;
- 2) доведение лимитирующей МПЗ до параллельной, монтаж пунктов параллельного соединения (ППС);
- 3) установка на лимитирующую МПЗ ППС и подвешивание УП на путь с наименьшим уровнем напряжения;
- 4) Подвешивание усиливающего провода на путь с наименьшим уровнем напряжения до ППС лимитирующей МПЗ;
- 5) Установка на лимитирующую МПЗ ППС и подвешивание УП и экранирующего провода (ЭП);
- 6) Монтаж установок продольной компенсации (УПК) в отсос смежных тяговых подстанций (ТП) и подвешивание УП на путь с наименьшим уровнем напряжения до ППС внутри зоны;

7) Монтаж компенсирующих устройств (КУ) на ПС и подвешивание УП на путь с наименьшим уровнем напряжения до ППС внутри зоны.

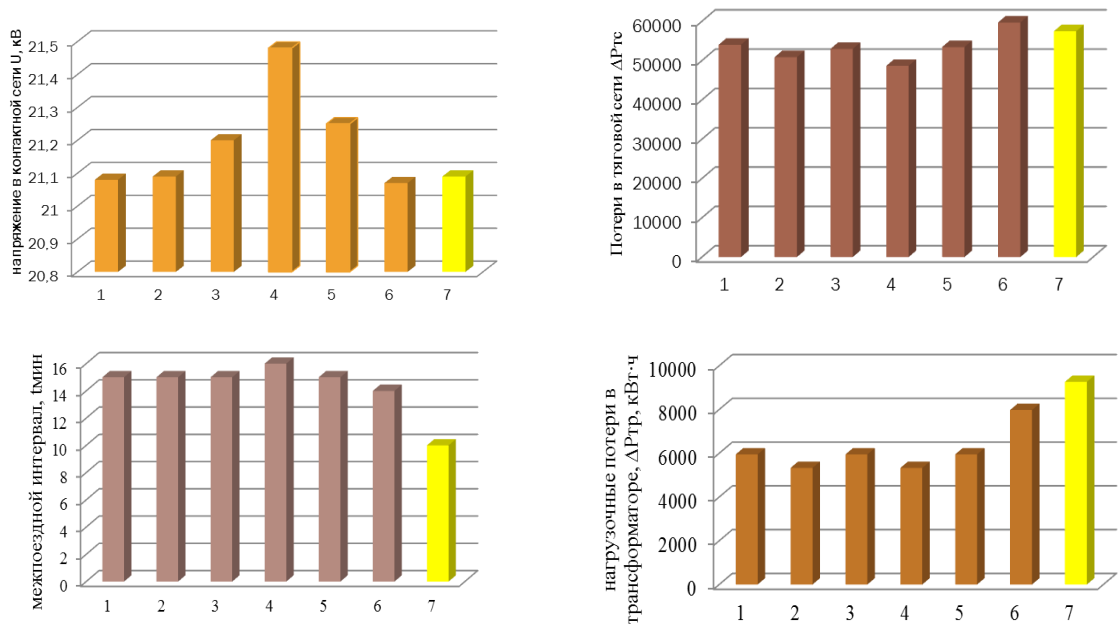


Рис.3. Сравнительные характеристики параметров СТЭ при различных вариантах усиления лимитирующей МПЗ участка

Основным критерием по определению объема усиления был выбран межпоездной интервал, определяемый режимными картами пропускной способности дороги (10 минут) [4, 5].

Оценив объем единовременных капитальных затрат, затрат на сооружение и монтаж, затрат на ремонт и эксплуатацию и ожидаемый срок окупаемости предлагается выделить три типа мероприятий по усилению лимитирующей МПЗ исходя из их объема:

- малозатратные:

а) монтаж ППС; б) подвешивание УП; в) подвешивание ЭП.

- средnezатратные:

а) монтаж ППС и подвешивание УП; б) монтаж ППС и подвешивание ЭП;

- крупнозатратные:

а) монтаж ППС и подвешивание УП и ЭП; б) монтаж УПК и подвешивание УП; в) монтаж КУ и подвешивание УП.

Заключение

Таким образом, в зависимости от необходимой пропускной способности и от имеющегося объема финансирования можно достичь следующих результатов:

- 1) при малозатратных мероприятиях пропускная способность участка увеличится с 84 до 96 пар поездов (ожидаемый срок окупаемости 1-2 года);
- 2) при средnezатратных мероприятиях пропускная способность участка увеличится с 84 до 110 пар поездов (ожидаемый срок окупаемости 2-4 года);
- 3) при крупнозатратных мероприятиях пропускная способность участка увеличится с 84 до 144 пар поездов (ожидаемый срок окупаемости 5-7 лет и более).

Литература

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от «15» декабря 2011 г. № 2718р «ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ ХОЛДИНГА «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» НА ПЕРИОД ДО 2015 ГОДА И НА ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2030 ГОДА». – М. 2011. – 97 с.: ил.
2. <http://gidural.ru/doku.php> - ГИД "Урал-ВНИИЖТ" [ГИД УРАЛ-ВНИИЖТ: Справочная система] (gidural.ru)
3. Комплекс программ для расчётов систем тягового электроснабжения. Общее руководство пользователя. Управляющий программный модуль комплекса «KtMain». М.: АО «ВНИИЖТ», 2018. – 60 с.: цв. ил.
4. Режимные карты пропускной способности участка Кижа – Архара Забайкальской железной дороги. – Чита, ЗабЖД, 2021. – 16 с.
5. ГОСТ Р 57670-2017. СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ. Методика выбора основных параметров. – М.: Стандартинформ, 2017. – 52 с.

Сведения об авторах:

Востриков М.В. – старший преподаватель кафедры «ЭлС» ЗаБИЖТ ИрГУПС.

Фареныйк В.В.- студент 5-го курса, группы СОД 1-19-1 кафедры «ЭлС», ЗаБИЖТ филиал ИрГУПС

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Шарипов М.М. Джамшедзода Х., Аминова С.М.

г. Душанбе, ТТУ имени академика М. С. Осими.

E- mail: shm100195@gmail.com

Аннотация: актуальность данной статье является в целесообразность использования дифференциальных защит в трансформаторах большой мощности в энергосистемах, принцип выполнения данной защиты в силовых трансформаторах.

Ключевые слова: дифференциальная защита, короткого замыкания, трансформатор, ток срабатывания защиты.

ABOUT THE FEASIBILITY OF USING DIFFERENTIAL PROTECTION IN TRANSFORMERS

Abstract: the relevance of this article is the feasibility of using differential protection in high-power transformers in power systems, the principle of implementation of this protection in power transformers.

Key words: differential protection, short circuit, transformer, protection operation current.

На всех электроустановках должно быть оборудованы устройствами релейной защиты [3] которой предназначены для:

➤ автоматического отключения с помощью выключателей те часть элементов, которой произошло в ней КЗ от остальной, неповрежденной части электрической системы. В сетях с изолированной нейтралью если появится повреждение и не нарушает работу ЭС в таких моментах действия РЗ допускается на сигнал;

➤ чувствительность на ненормальных режим работы всех элементов системы, всегда РЗ оснащается на сигнал или на отключение в тех электроустановках которой может привести к возникновению повреждения.

На всех силовых трансформаторах, согласно ПУЭ, от ниже приведённых повреждения или ненормальных режим работы должны быть предусмотрены устройства РЗ:

- на выводах и в обмотках многофазных замыканий;
- в сетях с глухозаземленной нейтралью однофазных замыканий на землю в обмотках и на выводах;
- в обмотках трансформаторов витковых замыканий;
- при обусловленных внешними КЗ токов в обмотках;

- в магнитопровод "пожар стали";
- токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- понижения уровня масла в трансформаторах.

Известно, что трансформаторы являются основным элементом в подстанциях и в них подключен основной набор нагрузок данного города или населённых пунктов. Согласно высшим указанным на всех силовых трансформаторах устанавливается **основной и резервной** защит.

На всех элементах энергосистема (генератор, трансформатор, КЛ, ВЛ, двигателей и т. д) устанавливаются основные защиты, для быстрого отключения данного элемента от всех видов КЗ. Если основная защита элемента обладает абсолютной селективностью, то на данном элементе должна быть установлена резервная защита, выполняющая функции не только дальнего, но и ближнего резервирования, т. е. действующая при отказе основной защиты данного элемента или выведении ее из работы.

а) основных защит силовых трансформаторах:

- продольная дифференциальная защита - защищает от всех видов КЗ в обмотках и на выводах трансформатора;
- газовая защита - защищает от всех замыканий внутри бака трансформаторов, выделение газа и в контакторном объеме РПН.

б) резервных защит силовых трансформаторах:

- МТЗ - защищает трансформаторы от перегрузок в обмотках ВН и НН;
- токовые защиты нулевой последовательности - защищает трансформаторы от КЗ на землю на сторонах ВН и СН;
- токовая направленная защита - защищает трансформаторы от внешних КЗ и МТЗ с пуском по напряжению от трехфазных КЗ.

Дифференциальная защита - основана на сравнении величин и направления токов до и после защищаемого элемента. Дифференциальные защиты подразделяются на *продольные и поперечные*. В трансформаторах в основном используется *продольные ДЗ*.

Направление токов при КЗ в трансформаторах приведено на рис. 1а. и в него рис. 1б.

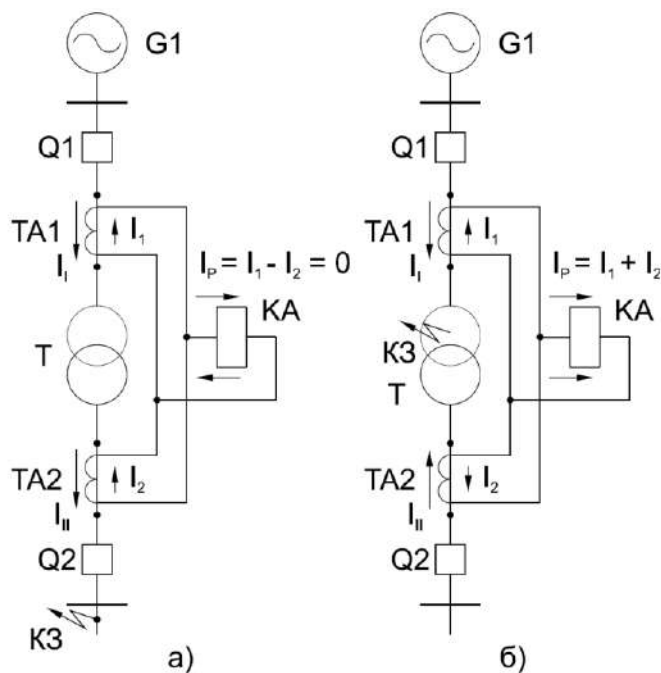


Рис 1. Направление токов дифференциальная защита трансформатора

Из рис.1а видно, что КЗ происходит в не зона защиты в этой момент защита не срабатывает и место КЗ считается мертвая зона для ДЗ, на рисунок 1б КЗ происходит в зоне защиты, ДЗ без выдержки времени отключает трансформатора. Преимущество у ДЗ заключается в том что, она без выдержка времени отключает данного элемента которой защищает (в этой защите не используются реле времени) и схема оперативная тока данного защита приведена на рис 2.

Ток срабатывания защиты ДЗТ выбирается по двумя условиям:

$$I_{с.з} = k_n \cdot I_{нб.макс} \tag{1}$$

$$I_{с.з} = k_n \cdot I_{ном.тр} \tag{2}$$

где k_n - коэффициент надежности (1,3); $I_{ном.тр}$ - номинальный ток трансформатора; $I_{нб.макс}$ - максимальный ток небаланса.

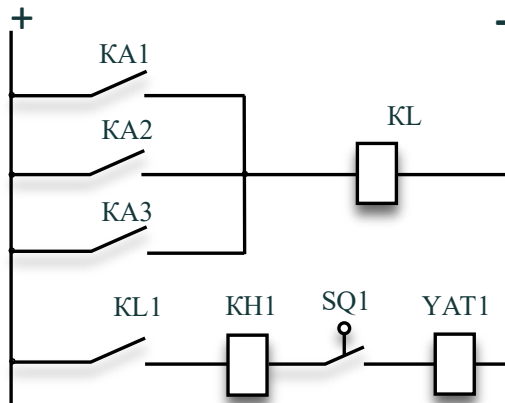


Рис 2. Оперативная цеп дифференциальной защиты трансформаторов

Для силовых трансформаторов регламентирована обязательная установка продольной дифференциальной защиты без выдержки времени на трансформаторах мощностью 6,3 МВ•А и более, а также на трансформаторах мощностью 4 МВ•А при параллельной работе последних с целью селективного отключения поврежденного трансформатора. Дифференциальная защита может быть предусмотрена на трансформаторах меньшей мощности, вплоть до 1 МВ•А, если токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с [1].

Можно заключить, что силовой трансформатор является особо важным элементом электрической сети. Поэтому необходимо обеспечить эффективную защиту трансформатора от всех возможных повреждений, как внутренних, так и внешних. От правильности выбора всех параметров РЗ (вид защита), зависит надёжность система электроснабжения, например, при КЗ защита должно отключит то часть которой произошло авария. Предлагаем, что для трансформаторов в качестве основной защите целесообразно использовать продольная дифференциальная защита так как она являются основной элемент, при какой-то КЗ должно моментально отключится защита чтобы какой-то часть трансформатор не выйдет и строя, и кроме этой защиты ещё резервной защиты надо предусматривать. Дифференциальный принцип является наиболее совершенным из современных принципов выполнения устройств релейной защиты. В настоящее время в энергосистемах в мире все большее распространение получают микропроцессорные устройства РЗА.

Литература

1. Александров А. М. Дифференциальные защиты трансформаторов: учебное пособие. – СПб.: ПЭИПК, 2011. – 223 с.
2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов. - 4-е изд., - М.: Высш. шк., 2006. – 639 с.: ил.
3. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). – М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Дроздов А.Д., Платонов В.А. Реле дифференциальных защит элементов энергосистем. – М.: Энергия, 1968.
5. М.А. Шаббад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.

Сведения об авторе:

Шарипов Мухаммади Миралиевич. – ассистент кафедры “Релейная защита и автоматика” ТТУ им. Акад. М. С. Осими. Тел (+992) 988828763; E-mail: shm100195@gmail.com.

Джамшедзода Баходур – магистрант 2 го курса, кафедры РЗ и АЭС

Джамшедзода Баходур – магистрант 2 го курса, кафедры РЗ и АЭС

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ КОММУТАЦИИ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ

Шутик Т.В.

*Сибирский Государственный университет водного транспорта,
Новосибирск, Россия*

E-mail: sobolevska-1965@mail.ru

***Аннотация:** В работе предоставлен анализ физических явлений при коммутации индуктивной нагрузки вакуумным выключателем.*

***Ключевые слова:** физические явления, вакуумный выключатель, срез тока, напряжение.*

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF PHYSICAL PHENOMENA OF INDUCTIVE LOAD SWITCHING WITH A VACUUM SWITCH

***Annotation:** The work provides an analysis of physical phenomena when switching an inductive load with a vacuum circuit breaker.*

***Keywords:** physical phenomena, vacuum switch, current cut, voltage.*

В электрических сетях при осуществлении переключений производятся включения и отключения отдельных присоединений с помощью выключателей, коммутирующих электродвигатели, трансформаторы, кабельные и воздушные линии электропередачи. Все эти коммутационные операции сопровождаются возникновением импульсных напряжений и повышенными напряжениями различной кратности и частоты [1, 5].

В настоящее время проводится массовая замена устаревших масляных и воздушных выключателей на элегазовые выключатели в сетях 110 кВ и выше. В сетях среднего напряжения наблюдается внедрение вакуумных выключателей (ВВ). Этому способствует также возможность модернизировать ячейки РУ путём замены масляных выключателей вакуумными. Эти выключатели имеют большой коммутационный ресурс, меньшие габаритные размеры.

К недостаткам ВВ относятся их способность генерировать повышенные импульсные напряжения и повышенные напряжения при коммутации присоединений, особенно, с индуктивными элементами (электрическими двигателями, трансформаторами) [4].

В работах, посвящённых анализу переходных процессов при коммутациях нагрузки вакуумными выключателями, указываются следующие механизмы возникновения повышенных напряжений. При включении: возможность многократных пробоев, сопровождающихся гашениями

переходного тока, при уменьшающемся межконтактном промежутке в процессе коммутации.

При отключении:

1. Срез тока до его нулевого значения и освобождение энергии, запасённой в индуктивных элементах схемы.

2. Эскалация напряжения: недостаточная диэлектрическая прочность межконтактного промежутка в начальный интервал времени после прерывания тока дуги, который не может выдержать переходного восстанавливающегося напряжения, что приводит к повторным зажиганиям дуги.

3. Виртуальный срез тока (доходящий до сотен ампер) в соседних фазах, вызванный повторными зажиганиями дуги в первой отключаемой фазе.

1. Механизм развития повышенных напряжений от среза тока заключается в следующем. При протекании тока по обмоткам реакторов, трансформаторов, генераторов, двигателей и других электротехнических устройств, в которых используется магнитное поле, образуется запас электромагнитной энергии. Разрыв контура, содержащего индуктивность, при значении тока, отличного от нуля, сопровождается преобразованием этой энергии в другие виды энергии, в частности, энергию электрического поля. Этим объясняется возникновение повышенных напряжений на индуктивных элементах сети при их отключении.

Явление среза тока в вакуумных выключателях было обнаружено сразу после начала массового использования таких выключателей – повышенные напряжения от среза тока послужили причиной повреждений печных трансформаторов, коммутировавшихся вакуумными выключателями несколько десятков раз в сутки. Долгое время срез тока считался единственной причиной повышенных напряжений при коммутации вакуумными выключателями индуктивных нагрузок.

Срез тока и механизм развития повышенных напряжений от среза тока не являются особенностью вакуумных выключателей, они характерны для всех коммутационных аппаратов с высокой дугогасящей способностью, прерывающих малые токи, но природа среза тока в классических выключателях и в вакуумном выключателе различна [2].

Суть явления среза тока для вакуумных выключателей состоит в следующем. При отключении переменного тока, если момент начала разведения контактов не совпадает с нулем тока промышленной частоты, между контактами аппарата загорается дуга. Дуга между контактами вакуумного выключателя горит в парах металла контактов. Концентрация паров металла случайна и снижается при подходе тока к нулю. Незадолго до

достижения нуля тока, концентрация пара становится недостаточной для поддержания горения дуги и дуга гаснет.

Таким образом, срез тока в вакуумных выключателях – практически мгновенный обрыв малого тока до перехода через нуль, происходящий из-за внутренней неустойчивости вакуумной дуги.

В масляных выключателях основная причина среза – колебания проводимости дуги при взаимодействии с контуром, а уровни токов среза сильно зависят от ёмкостей между электродами. В вакуумных выключателях нестабильность дуги связана, прежде всего, с природой контактного материала, а уровни тока среза зависят от контактного материала, уровня и формы отключаемого тока и слабо зависят от параметров схемы.

Кроме того, в ВВ срез тока происходит за малые времена ($10^{-7} - 10^{-8}$) с, что воспринимается сетью, как мгновенный переход выключателя из состояния «включено» в состояние «отключено». Такое поведение вакуумного выключателя позволяет рассматривать его как идеальный ключ, мгновенно переходящий из «проводящего» в «непроводящее» состояние, в то время как другие выключатели скорее напоминают переменный резистор, меняющий своё сопротивление по определённому закону (срез в классических выключателях

Если скорость роста напряжения на контактах ВВ велика и превосходит скорость роста прочности, наступает момент, когда напряжение на контактах превосходит прочность межконтактного промежутка – происходит пробой. Начинается переходный процесс перезаряда суммарной ёмкости кабеля присоединения и нагрузки через индуктивность кабеля и ёмкость источника. Через контакты после пробоя протекает суммарный ток, состоящий из убывающего тока промышленной частоты и тока высокой частоты.

Вакуумный промежуток обладает высокой способностью отключать высокочастотный ток, поэтому, в некоторый случайный момент при очередном переходе суммарного тока через нуль, дуга гаснет. Нагрузка воспринимает отключение суммарного тока как срез составляющей промышленной частоты, вслед за которым следует процесс восстановления напряжения. Снова существует вероятность пробоя межконтактного промежутка – так называемого повторного пробоя. Даже, если он не происходит, то амплитуда восстанавливающегося напряжения на нагрузке оказывается меньше, чем амплитуда напряжения от первоначального среза (неограниченная повторными пробоями).

Процесс повторных зажиганий и гашений заканчивается, когда прочность межконтактного промежутка оказывается больше амплитуды восстанавливающегося на контактах напряжения. Эффективным средством

снижения повышенных напряжений из-за среза тока является подбор материала контактов с низким уровнем тока среза [1].

Теоретически уровень тока среза можно уменьшить почти до нуля, но чрезмерное уменьшение уровня тока среза значительно ухудшает отключающую способность вакуумного выключателя.

2. При попытке применения ВВ (с контактным материалом, обуславливающим низкий срез тока) для коммутации высоковольтных электродвигателей проблема повышенных напряжений возникла снова. Причиной повышенных напряжений оказалась эскалация напряжения.

Суть явления эскалации напряжения для ВВ заключается в следующем. При отключении токов высоковольтных электрических двигателей, если момент начала разведения контактов попадает в окрестность < 1 мс до момента достижения нуля током промышленной частоты одной из фаз, дуга гаснет практически в нуле тока. Процесс восстановления напряжения на контактах может прерваться пробоем межконтактного промежутка.

Механизм повторных пробоев, происходящих далее, аналогичен механизму повторных пробоев после среза тока, но составляющая промышленной частоты суммарного тока через контакты не убывает, а растёт. Это приводит к увеличению от пробоя к пробую тока в нагрузке и, следовательно, увеличению амплитуды восстанавливающегося напряжения.

Таким образом, эскалация напряжения – процесс нарастания напряжения на нагрузке, возникающий в результате многократного повторения последовательно происходящих процессов:

- роста магнитной энергии в индуктивности нагрузки после каждого повторного зажигания вакуумной дуги;
- перехода части (если повторный пробой) или всей (если пробоя нет) накопившейся магнитной энергии в индуктивности нагрузки в электрическую энергию ёмкости присоединения после каждого гашения высокочастотной вакуумной дуги.

Эскалация напряжения в ВВ продолжается до тех пор, пока не будет выполнено одно из трёх условий:

- вакуумный выключатель выдерживает восстанавливающееся напряжение;
- суммарный ток в вакуумном выключателе не переходит больше через нуль. В этом случае в первом гасящем полюсе ВВ горит устойчивая дуга тока 50 Гц, которая отключается без повышенных напряжений в следующем нуле тока. К этому моменту времени контакты ВВ расходятся на расстояние,

достаточное для выдерживания переходного восстанавливающегося напряжения;

- происходит нарушение изоляции нагрузки.

3. Суть явления виртуального среза тока в следующем. При повторном пробое в первом гасящем полюсе ВВ (например, полюсе А) заряженная до некоторого напряжения ёмкость фазы А кабеля со стороны нагрузки разряжается через ёмкостные и индуктивные связи на стороне источника через два других полюса вакуумного выключателя и ёмкости фаз В и С. В общем случае, в полюсах В и С в это время горит дуга тока промышленной частоты. Если амплитуда высокочастотного тока, трансформировавшегося в полюсах В и С, превосходит мгновенное значение тока промышленной частоты этих фаз, суммарный ток в этих полюсах переходит через нуль и, из-за высокой способности вакуумного выключателя отключать токи высокой частоты, может быть отключен. В этом случае на осциллограмме токов наблюдается одновременное прерывание тока во всех полюсах вакуумного выключателя.

Если мгновенное значение тока в фазах В и С нагрузки в момент виртуального среза составляет десятки и сотни ампер (например, при отключении пускового тока высоковольтного электродвигателя), то возникающие вследствие этого коммутационные повышенные напряжения, как правило, очень велики и опасны для изоляции. Явление «виртуального среза тока» может наблюдаться в основном только при отключении ВВ трёхфазных цепей с изолированной нейтралью [1].

При включении и сближении контактов вакуумный промежуток пробивается сразу перед гальваническим контактом. Происходит серия пробоев так же, как при отключении. Так как контакты сдвигаются и диэлектрическая прочность межконтактного промежутка уменьшается, то напряжения пробоев снижаются с течением времени.

Диэлектрическая прочность межконтактного промежутка ВВ напрямую зависит от состояния поверхности контактов. Если на поверхности существуют неоднородности, которые образовались после отключения коротких замыканий и токов нагрузки или вследствие разрыва точек холодной сварки при размыкании контактов, то электромагнитные переходные процессы при включении могут быть более интенсивными. Это объясняется тем, что прочность межконтактного промежутка после возникновения первых нескольких предпробоев может возрасти из-за расплавления неоднородностей высокочастотными токами включения [1- 3, 5]. В этом случае переходный процесс при включении ВВ подобен переходному процессу с эскалацией повышенных напряжений при его отключении.

Коммутационные импульсные напряжения, возникающие при коммутации присоединений вакуумными выключателями, за счёт высокой кратности и кумулятивного эффекта представляют значительную опасность для витковой изоляции двигателей (в начале и в конце обмотки) и для изоляции оборудования присоединений РУ (6–10) кВ: высоковольтных кабелей, кабельных муфт, токоограничивающих реакторов и т.д.

Заключение

Ретроспективный анализ выполненных исследований показал, что коммутационные импульсные напряжения, возникающие при коммутации присоединений (6-10) кВ вакуумными выключателями, за счёт высокой кратности и кумулятивного эффекта представляют значительную опасность для витковой изоляции двигателей в начале и в конце обмотки и для оборудования присоединения: высоковольтных кабелей, кабельных муфт, токоограничивающих реакторов.

Литература

1. Кадомская, К.П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них / К.П.Кадомская [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 368 с.
2. Лизалек Н.Н. Структурный анализ переходных процессов в электроэнергетических системах при динамических возмущениях / Н.Н.Лизалек [и др.] // Науч. Пробл. Трансп. Сиб. И Дал. Вост. – 2011. - №1. – С. 339 – 344.
3. Овсянников А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебник / А.Г.Овсянников, Р.К.Борисов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 196 с.
4. Рыбаков Л.М. Вопросы ограничения перенапряжений в сетях 6-35 кВ / Л.М.Рыбаков. – Красноярск: Изд-во КрГТУ, 1991. - 152 с.
5. Сальников, В.Г. Концепция устойчивости узла нагрузки в электрических сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений полезных ископаемых / В.Г.Сальников [и др.] // Науч. Пробл. Трансп. Сиб. И Дал. Вост. – 2012. - № 1. – С. 262 – 266.

Сведения об авторе:

Шитик Т.В. – аспирант 3-го курса, группы АЭС-211, кафедры электроэнергетических систем и электротехники, Сибирский Государственный университет водного транспорта.

ЭВАЛЮТСИЯИ ПАЙДОИШ ВА ИСТИФОДАБАРИИ 5G ДАР ЧАҲОНИ МУОСИР

*Аминов Ш.А., Махкамова И.И.
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ*

***Аннотатсия:** Дар ин мақолаи мазкур оиди стандартӣ насли панҷуми 5G шарҳ дода мешавад. Оид ба чаҳор насли алоқаи мобилӣ мавҷудбуда шарҳ додашудааст. Гумон меравад, ки насли панҷуми алоқаи мобилӣ то соли 2020 пайдо шуда. Муаллиф инчунин дар бораи гузашти насли 5G шарҳи пурра додааст, ки ҳар як насли нави алоқаи мобилӣ тақрибан 10 сол пас аз пайдоиши қаблӣ пайдо шудааст: Инчунин қайд карда шудааст, ки аввалин шабакаҳои 5G тақрибан соли 2020 пайдо шудаанд ва дар дасолаҳои охир тағир ёбанд.*

***Калидвожаҳо:** архитектура, шабакаҳои мобилӣ, шабакаҳои операторӣ, стандарт, телекоммуникатсия, виртуализатсия, индустриалӣ, стансияҳои пойгоҳи, логистика 5G, Интернет, гачетҳо, сенсорҳо, видеоконференсия, телемедицина.*

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЯВЛЕНИЕ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬЯ 5G В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

***Аннотация:** В этой статье описывается стандарт 5G пятого поколения. А так же уточняется что существует четыре поколения мобильной связи. А так же в статье уточняется, что к 2020 году переходит пятое поколение мобильной связи.*

Автор объясняет, что существует так называемое правило десятилетие, в котором переходят в другой поколении в поколение 5G и намечается, что этот вид поколение может быть изменяемой.

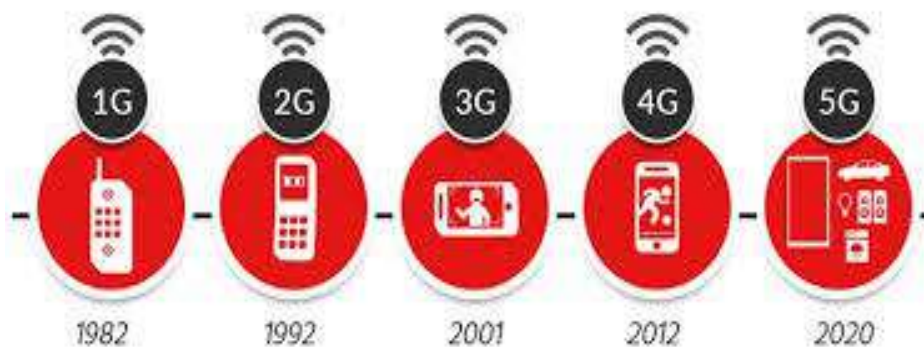
***Ключевые слова:** архитектура, мобильные сети, операторские сети, стандарт, телекоммуникации, виртуализация, промышленные, базовые станции, 5G-логистика, интернет, гаджеты, датчики, видеоконференция, телемедицина.*

EVOLUTION OF ORIGIN AND USE OF 5G IN THE MODERN WORLD

***Annotation:** This article describes the fifth generation 5G standard. The four generations of mobile communication are explained. It is believed that the fifth generation of mobile communication will appear by 2020. The author also gave a complete overview of the past of the 5G generation, that each new generation of mobile communication appeared about 10 years after the previous one: It is also noted that the first 5G networks appeared around 2020 and have been changing in recent decades.*

Keywords: *architecture, mobile networks, operator networks, standard, telecommunications, virtualization, industrial, base stations, 5G logistics, Internet, gadgets, sensors, videoconference, telemedicine.*

Дар айни замон барномаҳо барои таҳияи нақшаи асосии стандарти насли панҷум идома доранд. Аз ин рӯ, таърифи дақиқи 5G ҳанӯз дода намешавад, танҳо пешгӯӣ кардан мумкин аст, ки пас аз соли 2023 чӣ гуна шабакаҳо хоҳанд шуд.



Рас. 1- Эвалютсияи пайдоиши 5G дар ҷаҳони муосир

Маълум аст, ки дар оянда боз бисёр дастгоҳҳо ба шабака пайваست карда мешаванд, ки аксарияти онҳо аз руи принципи «ҳамеша онлайн» кор мекунанд. Дар ин ҳолат, истеъмоли қувваи барқ параметри хеле муҳим хоҳад буд.

Технологияҳои мобилӣ меъморӣ (архитектура) виртуалии 5G ба ҳаёти мо саҳт ворид шудааст ва мавқеи худро мустаҳкам мекунанд. Шабакаҳои мобилӣ шабакаҳои операторӣ мебошанд, ки аз як тарафи иртиботи овозӣ ва дастрасии интернетро таъмин мекунанд ва аз тарафи дигар, доираи гуногуни гачетҳо, сенсорҳо ва дастгоҳҳои интеллектуалӣ: аз трекерҳои- смарт дар айни замон то қаҳвапазҳои интеллектуалӣ, мошинҳо ва тамоми шахрҳои ояндаи наздик.

Тибқи қоидаи 10-сола, дар ҳар даҳсола як насли алоқаи мобилӣ ба вучуд меояд. Аммо ҳатто як стандарт дар давоми 10 сол боқӣ наместонад. Масалан, насли чорум тасниф шудааст ба LTE, LTE-A; WiMAX; 4G, 5G ва дигарон. Чун қоида, барои бартарияти 4G тақрибан се-чор сол боқӣ мондааст. Ҳамзамон, маълумот дар бораи навоариҳо барои шабакаҳои 5G ва санҷиши шабакаҳои пеш аз pre-5G торафт бештар пайдо мешавад. Аз баъзе фурушандагон ва операторҳо аризадиҳи мағрурона мавҷуданд, ки онҳоро дар давоми солҳои минбада ҷойгир мекунанд.

То имрӯз стандартҳои расмии 5G ташаккул наёфтаанд. Бозингарони пешбари бозори ҷаҳонии телекоммуникатсионӣ, аз ҷумла Qualcomm, Huawei,

Ericsson, Verizon, AT&T, Nokia ва дигарон, концепсияҳои шабакаҳои ояндаро тавассути озмоиши прототипҳои худ пешниҳод мекунад.

Хусусияти асосии ҳар як насл, ки пеш аз ҳама эълон карда мешавад, суръати интиқоли маълумот мебошад. Аммо, ин ягона тасниф нест. Бо дарназардошти рушди Интернети ашӯ ва дар натиҷа, афзоиши шумораи дастгоҳҳои пайвастшуда, инчунин бо афзоиши мунтазами трафики истеъмолшуда, талаботҳои зерин барои насли панҷум муайян карда мешаванд:

- Постгоҳи қобилияти шабака беш аз 10 Гбит/с.
- Дастгирии пайвасти ҳамзамон то 100 миллион дастгоҳ/км².
- Таъхири интиқоли маълумот на бештар аз 1 мс.
- Тақсимоти байни хидматҳои гуногуни манбаи басомадҳои зарурӣ.

Шабака аз ҷониби барномаи муайяншудаи SDN (Software-Defined Networks) метавонад як технологияи муассир гардад, ки миқдори таҷҳизоти операторро коҳиш медиҳад ва нигоҳдории инфрасохторро содда мекунад. SDN ба табдили ширкатҳои рақами ва интиқоли хидматҳо ба технологияҳои абрӣ сахм мегузорад. Принсипи асосии кори Software-Defined Networks – ин идоракунии дурдасти шабака ва дастгоҳҳои интиқоли маълумот, яъне. барномавӣ.

Дар навбати худ, тахмин карда мешавад, ки виртуализатсияи функсияҳои шабакавии NVF (Network Functions Virtualization) функсияҳои гуногуни бисёр унсурҳои шабакавии операторони мобилиро виртуализатсия карда, инчунин «шабакаи мувофиқи талабот»-ро амалӣ месозад. Яъне маълумот дар муҳити виртуалӣ ("дар абр") коркард ва нигоҳ дошта мешавад. Таҷҳизоти классикӣ вазифаи интиқоли трафики корбаронро нигоҳ медорад. Ин равиш ба ташкили шабакаҳои насли панҷум ба тамоюлҳои пайдоиши алоқаи бесим, яъне конвергенсия мувофиқат мекунад. Конвергенсия интегратсияи объектҳои алоҳидаи шабакавиро ба як комплекси ягонаи ҳисоббарорӣ дар назар дорад. Ин барои дастгоҳҳои "оқил" низ барои мубодилаи иттилоот дар интернет муҳим аст.

Барои ташкили як қисми муайяни шабака, операторҳо қарорҳои аллақай таҳияшударо бо маҷмӯи параметрҳои зарурӣ ва таҷҳизоти мушаххас истифода мебаранд. Виртуализатсияи 5G ва шабакаҳои "бо дархост" имкон медиҳад, ки серверҳо ва марказҳои DATA барои операторҳо пешакӣ ташкил карда шаванд, яъне ба онҳо ҳалли «кутгӣ» дода, хароҷоти вақт ва молиявиро барои ҷорӣ намудани хизматҳои нав хеле кам мекунад.

Технологияҳои иқтидори дар стандартӣ 5G интизори меравад, ки шабакаҳои 5G имкон медиҳанд, дастгоҳҳои зиёдеро пайваст кунанд, ки қодири

ба таъсиси миллиардҳо пайвастандаи доранд, ки ба туфайли ин имкон фароҳам меорад, ки хидматҳои нав дар:

- Бахши ИТ ва телекоммуникатсия,
- саноати автомобилсозӣ,
- фароғати индустриалӣ,
- маориф,
- хоҷагии қишлоқ ва бисъёр дигарон.

Ба шарофати шабакаҳои насли панҷум, инчунин, беҳтар кардани сифати истифодаи хидматҳои мавҷуда имконпазир мегардад, ки дар он миқдори зиёди трафик ҷалб карда мешавад.

Теодор Сизер, ноиби президенти технологияҳои бесими Bell Labs қайд кард, ки дастгоҳҳои гуногун дар шабакаҳои 5G кор хоҳанд кард. Смартфонҳо ва планшетҳо дар ин ҷо боқӣ мемонанд, аз ҷумла камераҳои амниятӣ, датчикҳои обу ҳаво, датчикҳои “доноӣ” занҷирҳои электрики, хонаҳои “доно” ва мошинҳо.

1) *ММО - и азими*-Технологияи ММО маънои истифодаи антенаҳои сершумори интиқол ва қабулро дорад. Технологияе, ки дар шабакаҳои насли чорум бомуваффақият истифода мешавад, дар шабакаҳои 5G низ татбиқ хоҳад шуд. Дар баробари ин, агар дар ҳоли ҳозир дар шабакаҳо ММО 2x2 ва 4x4 истифода шаванд, пас дар оянда шумораи антенаҳо бояд афзоиш ёбад. Ин технология якбора ду далели ҷиддӣ барои татбиқ дорад:

- суръати интиқоли маълумот мутаносибан ба шумораи антенаҳо меафзояд,
- сифати сигнал ҳангоми қабули сигнал аз ҷониби якҷанд мавҷгирҳо якбора беҳтар мешавад.

2) *Гузариш ба диапазони сантиметр ва миллиметр*- Дар айни замон, шабакаҳои LTE дар басомадҳои пастари 3,5 ГҲс кор мекунанд. Барои фаъолияти пурраи шабакаҳои алоқаи мобилии 5G зарур аст, ки шабакаҳоро дар басомадҳои озодтари баланд ҷойгир кард. Бо зиёд шудани басомади интиқоли иттилоот, дурии алоқа кам мешавад. Ин қонуни физика аст, онро танҳо бо зиёд кардани иқтидори передатчик, ки аз руи меъёрҳои санитарӣ маҳдуд карда шудааст, гузаштан мумкин аст. Бо вучуди ин, чунин мешуморанд, ки стансияҳои пойгоҳи шабакаҳои насли панҷум назар ба ҳозира зичтар хоҳанд буд, ки ин ба зарурати эҷоди иқтидори хеле калони шабакавӣ ба вучуд омадааст. Бартарии даҳҳо диапазонҳои ГҲс мавҷудияти миқдори зиёди спектри озод аст.

3) *Мултитехнология*- барои пешниҳоди хидматрасонии баландсифат дар шабакаҳои 5G зарур аст, ки ҳама стандартҳои мавҷудбуда, аз қабили UMTS, GSM, LTE ва дигарон, ба монанди Wi-Fi, дастгирӣ карда шаванд. Истгоҳҳои пойгоҳи Wi-Fi метавонанд барои интиқоли трафик дар минтақаҳои махсусан серодам истифода шаванд.

4) D2D (*Device-to-device*, *дастгоҳ ба дастгоҳ*)- технологияи Device-to-device имкон медиҳад, ки ба дастгоҳҳои, ки ба ҳам наздиканд, бидуни иштироки шабакаи 5G мустақиман муошират кунанд, ки тавассути ядроӣ онҳо танҳо трафики сигнализатсия мегузаранд. Бартари ин технология имкони гузаронидани интиқоли додаҳо ба қисми беичозатномаи спектр мебошад, ки ба таври иловагӣ шабакаро ҳолӣ мекунад.

SK Telecom қайд мекунад, ки истифодаи замимаҳои виртуалӣ ва воқеияти афзоишёфта дар сатҳи нав низ имконпазир хоҳад шуд. Масалан, ворид намудани унсурҳои воқеияти афзоянда ба раванди таълим тавассути ташкили осорхонаҳои виртуалӣ ва моделҳои коинот дар синфхона.

Дар лоиҳаҳои “шаҳри доно”, 5G имкон медиҳад, ки иттилоотро дар вақти воқеӣ аз шумораи бештари сенсорҳо дар сайтҳои гуногун интиқол диҳад. Директори калони идоракунии маҳсулот оид ба технологияҳои мобилӣ Qualcomm қайд мекунад, ки ба ҷои садҳо ҳазор сенсорҳо ҷойгир кардан мумкин аст, ки ба онҳо истгоҳҳои базавӣ нисбат ба шабакаҳои мавҷуда камтар хизмат мерасонанд. Инҳо метавонанд, масалан, датчикҳо барои мониторинги ҳолати хоҷагии манзилию коммуналӣ, датчикҳо барои “равшани доно” ё датчикҳои садо, ки бо мақсади амният ва нигоҳ доштани тартибот дар шаҳр насб карда шудаанд. Дар ҳолатҳои охир, сенсорҳо метавонанд садоҳои шубҳанок ё хеле баландро муайян кунанд ва ин маълумот ба таври худкор ба мақомоти ҳифзи ҳуқуқ интиқол дода мешавад.

Сервисҳои нав бо истифода аз 5G низ метавонанд дар тиб татбиқ карда шаванд. Масалан, назорати фосилавии аҳволи беморон ташкил карда шавад. Духтур имкон пайдо мекунад, ки аз сенсорҳои махсус маълумотро зуд қабул кунад ва вазъи беморонро шабонарӯз назорат кунад.

Бо тӯфайли хеле пасти интиқоли маълумоти, 5G инчунин имконоти бештарро барои амалиёти дурдаст бо ёрии роботҳо боз мекунад. Чунин сервис махсусан барои шаҳракҳои хурде, ки дар он ҷо ҷарроҳони маҳаллӣ вучуд надоранд, муҳим аст: тавассути назорати манипулятсияҳои робот, амалиётро мутахассисе анҷом медиҳад, ки дар ҷои тамоман дигар ҷойгир аст. Ба шарофати 5G, чунин хизмат метавонад дар шабакаҳои бесим ҷойгир карда шавад.

Боздоштани пасти додаҳо, ки шабакаҳои насли оянда метавонанд таъмин кунанд, барои густариши шабакаҳои барқии “доно” низ муҳиманд. Истифодаи датчикҳо имкон медиҳад, ки осеби хати барқ фавран ошкор карда шавад ва паҳншавии оқибатҳои зарарро баъдан аз хатти дигар пешгирӣ кунад. Ҳамин тариқ, зарар ба шумораи камтари истеъмолкунандагони нерӯи барқ таъсир мерасонад.

Дар ширкатҳои бузурги истеҳсолӣ, дар савдои чакана, логистика 5G, имкон медиҳад, ки роботҳои саноатии бештареро истифода баранд, ки ба ҷои одамон вазифаҳои гуногунро иҷро мекунанд, инчунин дронҳо. Охири аллакай дар баъзе соҳаҳо истифода мешавад, аммо аксар вақт тавассути шабакаҳои Wi-Fi идора карда мешаванд. 5G ба шумо имкон медиҳад, ки масофаи бештарро нисбат ба шабакаҳои Wi-Fi тай кунад ва ба шарофати боз доштани он устувории чунин системаҳоро зиёд мекунад.

Намунаи хидматҳое, ки 5G барои онҳо бартарӣ хоҳад дошт, системаҳои назорати видеои шаҳрӣ мебошанд. 5G барои содда кардани ҷойгиркунии ва истифодаи онҳо кӯмак хоҳад кард. Ҳоло трафик аз ҳазорон камераҳои шаҳрҳо асосан тавассути шабакаҳои фиксирони интиқол дода мешавад. Ҷойгир кардани чунин инфрасохтор кори осон нест, зеро он кашидани симҳои зиёдро талаб мекунад. Бо 5G имкон пайдо мешавад, ки терабайтҳои видеои баландсифатро ба таври бесим қабул кунем.

Мисоли дигар ин хидмати мониторинги нақлиёт дар ширкатҳост. Ширкати Qualcomm дар назар аст, ки бо пайдо шудани шабакаҳои насли нав, оператороне, ки чунин хадамот пешниҳод мекунанд, метавонанд арзиши онро коҳиш диҳанд. Ин имкон медиҳад, ки арзиши як пойгоҳи 5G аз арзиши истгоҳҳо барои шабакаҳои мавҷуда пасттар бошад ва инчунин аз сабаби он, ки як истгоҳи базавӣ метавонад ҳамзамон ба дастгоҳҳои бештар, мутаносибан камтари пойгоҳҳои базавӣ хидмат расонад, ва барои хизмат талаб карда мешавад.

Ояндаи тиб бо рушди 5G - технологияи 5G (бо суръати Интернетӣ беш аз 100 мегабайт дар як сония) ба зудӣ имкон медиҳад, ки дастгоҳҳо ва хидматҳои гуногуни технологӣ ҳамгиро шаванд, ки воқеияти даврони Интернетӣ ашро наздиктар мекунад. Ин водор мекунад, ки мутахассисон ва одамони оддӣ дар бораи он фикр кунанд, ки ҷаҳон бо ин технология чӣ мешавад.

Яке аз соҳаҳои муҳиме, ки дар он технология метавонад ба ҷомеа ғоидаи назаррас расонад, ниғадории тандурустӣ мебошад.

Истифодаи сенсорҳо ва дастгоҳҳои тиббии масофаӣ коркунанда ба беморони минтақаҳои дурдаст дастрасӣ ба хидматрасонии пешрафтаи тиббиро фароҳам меорад. Рушди видеоконференсия ва телемедицина, диагностикаи масофавӣ ва ҷарроҳии масофавӣ на танҳо аз руи ҷуғрофӣ ғолиб баромадан дар расонидани хадамоти тиббӣ, баланд бардоштани самаранокии кӯмаки тиббӣ дар ҳолатҳои фавқуллода, балки арзиши хизматрасонӣ ба беморонро коҳиш медиҳад. Бо ёрии Интернетӣ баландсуръат, дастгоҳҳои тиббӣ метавонанд дар тӯли чанд сония маълумоти беморонро дар масофа ҷамъоварӣ ва интиқол диҳад.

Беҳтар кардани қобилияти истифодаи дастгоҳҳои тиббӣ, истифодаи маълумоти калон метавонад дақиқии ташҳиси тиббиро беҳтар созад ва шумораи хатогиҳои тиббиро аз омилҳои инсонӣ коҳиш диҳад.

Таҷҳизоти ченкунии пӯшида аллакай як қисми ҳаёти бисёр беморони имрӯза шудаанд. Истифодаи имкониятҳои телетиббӣ ва истифодаи робототехника дар тибби оянда имкон медиҳад, ки масалан, дар минтақаҳои душворгузар, дар минтақаҳои муноқишае, ки ба муассисаҳои тиббӣ дастрасӣ надоранд, амалиёти ҷарроҳии беморон анҷом дода шавад.

Як мисоли муваффақияти имрӯзаи телетиббӣ барномаи бостони Partners Healthcare дар Иёлоти Муттаҳида Америка мебошад, ки зиёда аз 3000 беморони дил дар истифодаи дастгоҳҳои хонагӣ барои чен кардани вазн, фишори хун ва дигар нишондиҳандаҳои ҷисмонӣ, ба таври худкор маълумотро ба табибон ирсол мекунад. Барномаи махсус коркардшуда таъмини бисёр ҳаёти беморон ва табибонро осонтар намуда, миқдори қабули духтурон бо бемор 44 дарсад коҳиш дод ва дар маҷмӯъ 10 миллион долларро сарфа кард.

Андешаҳои танзимгарони давлатӣ ва намояндагони тиҷорат дар бораи ояндаи технология дар тибб гуногунанд.

Агар соҳибкорон, иноваторҳо ва ширкатҳои инноватсионӣ пеш аз ҳама ба пешрафти технология ва имконияти ба даст овардани пул аз он манфиатдор бошанд, пас танзимгарон бештар дар бораи таҳдидҳо ва хатарҳои эҳтимоли барои давлат, масалан, масъалаҳои амният ва махфияти маълумоти шахсии бо истифода аз технология маълумоти шахси ва имконияти назорати онҳост.

Директори маркази Big Data Solution, Intel боварӣ дорад, ки технологияҳои Интернетии саривақтаи ҳадамоти тиббиро ба таври назаррас беҳтар мекунанд. Беморон метавонанд дар вақти зарурӣ ёри тиббӣ гиранд ва дар кучое ниёздоранд, дар вақти воқеӣ кӯмак гиранд. Дар ҷаҳони бо ҳам пайваستшуда, тибб бештар пешрафта хоҳад шуд. Таҳлили маълумот дар давраи 5G ҳар як дастгоҳро оқилтар мекунад, зеро онҳо ба як шабакаи умумӣ пайваст мешаванд. Табибон имкон пайдо мекунанд, ки дар бораи ҳар як бемор маълумоти дақиқтар ва мукаммал пайдо кунанд.

Директор ва ноиби президенти иттиҳодияи тиббии Personally Connected, бо ин розӣ нест: Вақте ки ҳама чиз пайваст мешавад, ҳамеша хатари он вучуд дорад, ки ҳар як дастгоҳ метавонад барои ҳама гуна мақсад истифода шавад. Мо бояд аҳамияти ҳифзи маълумоти шахсии беморонро дар хотир дошта бошем, бидонем, ки ба он дастрасӣ дорад, кай ва чӣ тавр онҳо онро истифода мебаранд. Муайянкунӣ як ҷанбаи асосии истифодаи маълумоти шахсӣ мебошад. Дар замоне, ки технология ин қадар босуръат пеш меравад, танзим низ бояд тезтар шавад.

Ба гуфтаи Адам Тайер, профессори Маркази Меркатус дар Донишгоҳи Чорч Мейсон ва муаллифи китоби “Безграничные инновации”, инноватсия барои муассиртарин будан бояд бидуни ягон танзим ва иштироки давлат рушд кунад, ки аксар вақт тавассути ворид кардани бармаҳал ва ба рушди стандартҳои танзимкунандаи онҳо халал мерасонад. "Шумо мо он чизеро, ки ханӯз пурра намефаҳмед, пешакӣ танзим карда наметавонем", қайд мекунад профессор Тайер.

Хулоса стандарти шабакаи 5G дар соли 2018 ва густариши тичоратӣ дар соли 2020 ворид мешавад. То таҳияи стандарт, 5G концепсияе боқӣ мемонад, ки дар он шабакаҳои насли оянда аз технологияҳои қаблӣ хеле баландтар - на камтар аз 10 маротиба зиёдтар аз LTE - ва қобилияти интиқоли миқдори зиёди маълумот бо таъхири хеле камтар фарқ мекунад. Таъхири интиқоли иттилоот дар 5G камтар аз 1 миллисония аст, дар ҳоле ки дар шабакаҳои LTE он 10-20 миллисония аст. Илова бар ин, шабакаҳои 5G чандирӣ бештар ва қобилияти "мутобиқ шудан" ба дастгоҳи муштарӣ хоҳанд дошт.

Адабиётҳо

1. 5G WORLD SUMMIT - 2014: Курс прежний - От 4G К 5G Тихвинский В.О. Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 7. С. 95-96.
2. ИННОВАЦИИ: 5G WORLD SUMMIT: "Достойная старость" 2G на фоне бурного роста 5G. Валерий Тихвинский ОБ ИТОГАХ 5G WORLD SUMMIT. Тихвинский В. Электросвязь. 2015. № 10. С. 18-21.
3. Перспективы развития связи 5G. Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М. Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 233-235.
4. 5G - Работа над ошибками предыдущих поколений Мельник С.В. Вестник связи. 2014. № 7. С. 29-30.
5. Потребность в 5g. проблемы разработки и тестирования. Вайтакр Я. Вестник связи. 2014. № 8. С. 4-6.
6. 4G пишем, 5G в уме. Ганьжа Д. Журнал сетевых решений LAN. 2014. № 4. С. 1-3.

Маълумот дар бораи муалифон:

Махкамова Ишқинисо Иномовна - унвонҷӯ, омӯзгори калони кафедраи технологияи иттилоотӣ ва амнияти иттилоотӣ. Академияи идоракунии давлатии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Аминов Шамсуло Асоевич – номзади илмҳои техники, дотсенти кафедраи физика ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИИ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Эшов З.С.

Горно-металлургический институт Таджикистана, г. Бустон

Аннотация: В статье рассматриваются методы получения первичной информации в энергосистемах.

Ключевые слова: ток, напряжения, мощность, нагрузка, режим.

PRIMARY INFORMATION OF ELECTRIC ENERGY FLOW IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Annotation: The article discusses methods for obtaining primary information in power systems.

Keywords: current, voltage, power, load, mode.

В мировой практике принято, что современная энергетическая система - это совокупность энергетических установок и сооружений, генерирующая часть которых объединена энергетическими связями с линиями электропередач, преобразовательных подстанций и потребителей электрической энергии, объединенных для параллельной работы. Реально же электрические сети значительно больше, взаимосвязанные силовыми информационными и другими каналами распределенные системы.

Каждый из потребителей электрической энергии хотел бы получить для своих нужд электроэнергию стабильно в соответствии с нормативными стандартами. Но потребители, в свою очередь влияют на работы энергосистемы, изменяя как качество, так и надежность. В результате возникают вопросы критического определения взаимоотношения пользователей, посредников и производителей электрической энергии. По мере развития энергосистемы, задачи спроса и сбыта электрической энергии будут усложняться, и могут рассматриваться, как задача взаимоотношений одних частей энергосистемы с другими. Причем, критерии взаимоотношений должны быть направлены как на удовлетворение потребителей, так и на обеспечение надежности и управляемости энергосистемы в целом.

Мощные энергообъединения, как правило, лучше противостоят единичным нарушениям режима, обусловленным отключением отдельных линий электропередач, мощных потребителей и целых электростанций. Как показывает опыт эксплуатации последних лет, каскадное развитие аварий, проявляющееся в нескольких отказах элементов энергосистемы, может повлечь за собой тяжелые последствия, приводящие к нарушению электроснабжения

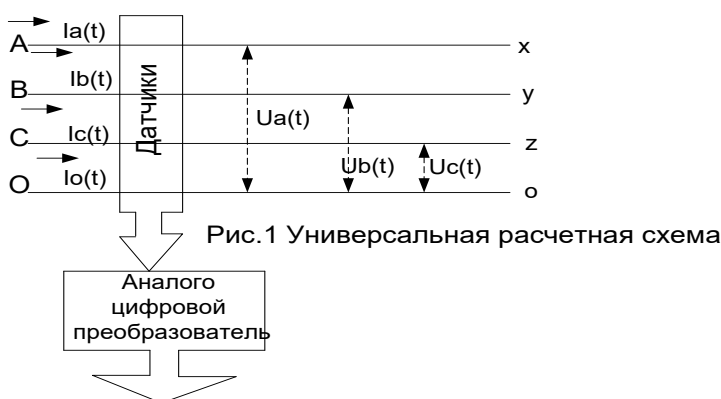
потребителей на огромных территориях. Такие катастрофические аварии происходили в США, Франции, Канаде, России и в Таджикистане. Эти тяжелые аварии серьезные экономические и социальные потрясения, нанесли огромный экономический ущерб. Основной причиной этих и многих других системных аварий послужила информационная несостоятельность по быстрдействию и логике принятой релейной системной принятой автоматикой управления.

Одним из основных причин информационной несостоятельности лежит в ограниченности первичных датчиков своевременно, качественно и селективно оценить соответствующие параметры потоков электрической энергии и невозможности унифицировать сбора, передачи, хранения и преобразования требуемой скорости информационных сигналов от множества датчиков распределительной системы электроснабжения. В тоже время, научно-технический прогресс последних лет в области информационных технологий, на базе развивающейся цифровой технике и автоматики позволяет качественно по новому перейти к решению вышеперечисленных проблем, чем вызвано, в последнее время, бурное обновление информационно управляющего слоя электрических систем различными фирмами (ABB и др.).

В мире все шире и шире идут замены первичных датчиков на цифровые устройства, информация о которых поступает на общую локальную информационную шину, к которой подсоединены различные обрабатывающие контролеры и компьютеры разного назначения. Компьютеры объединяются в локальные вычислительные сети в пределах энергетического предприятия или крупного электроэнергетического потребителя. Эти локальные вычислительные системы, в свою очередь, через порталы связи объединены в общую вычислительную систему электрической сети. Таким образом, теоретически из любой точки общей вычислительной системы можно получить полную информацию о потоках электроэнергии и о характеристиках объектов электрической сети. Однако, практически существует много ресурсных ограничений и, как правило, информация нижнего уровня интегрируется, уплотняется и в контактном виде передается на верхний уровень иерархии управления. На разных уровнях иерархии управления стоят мониторы одинакового типа, что создает обманчивое представления у непрофессионалов об однотипности решаемых задач различными службами и устройствами. В этом заключается особенности компьютерных систем, так как часто имеют одинаковое исполнение, но разные программы. В основе новых электрических сетей переменного тока можно привести разделение границы между производителями, посредниками и потребителями электрической энергии.

Мгновенные значения токов и напряжений в фазах любых границах

электрической сети и любой линии электропередачи эти величины являются первичными источниками информации о потоках электрической энергии и параметрах нагрузок в электрических сетях переменного тока- это позволяет отказаться от многочисленных не цифровых приборов и тем самым перейти к цифровой обработке сигналов о первичных токах и напряжениях для получения любых показателей потока электрической энергии на учетной границе. Функционально можно показать на рис.1. Информация с датчиков поступает на аналого-цифровой преобразователь, а с него на информационную шину для хранения и использования при решении задач измерения, управления системой, релейной защиты и других задач [1].



Из этой схемы можно найти вектор параметров потоков энергии на любых границах. Можно рассчитать потери в линии электропередач и КПД в заданном режиме работы электрической сети. Задачу можно сформулировать в программе MATLAB в приложение SIMULINK используя блоки программ датчиков и вывести на печать результаты. Практически все задачи информационного, коммерческого, технического и аварийного управления в электрических сетях переменного тока используют информацию более сложных случаях используют информацию о параметрах среднeperиодных значений общих потоков электроэнергии (dI , dU и др.), [2].

В электрических переменного тока известной структуры можно идентифицированные ее параметры по записям мгновенных значений токов $i(t)$ и напряжений $u(t)$ на некотором отрезке времени T , если эти сигналы информативны.

Конструкциям датчиков тока и напряжения с широким частичными диапазонами с индуктивной связью, или на базе эффекта Холла, или с использованием оптических и голографических эффектов приведены в работах. Так же бурно развивается элементная база быстродействующих аналого-цифровых и шифр-аналоговых преобразователей с высокими технико-экономическими показателями [3]. Элементная база в последние годы сделала колоссальный скачек, однако, программно-алгоритмические вычисления

среднепериодично значений потока энергии переменного тока I, U, P, Q и др. осталось мало реконструированными. Перспективными являются алгоритмы на базе модуляционно - интегрально преобразования.

Заключение

Применение новейшие технологии для получения первичной информации о потоках электроэнергии в электрической системе открывает возможности более точно получить информацию о потоках энергии в электрической системе. Этими возможностями можно воспользоваться для подсчета транспортируемой энергии, для решения задач измерения, управления системой релейной защиты и других задач. А также облегчает ликвидации аварийных режимов и восстановления нормального электроснабжения и повышает надежность ЭЭС.

Литература

1. Зыкин Ф.А., Каханович В.С. Измерение и учет электрической энергии. М.: Энергоатомиздат, 1982.-104 с.
2. Совалов С.А., Семенов В., Противоаварийное управление в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1988.-416 с.
3. Лоренс Карен. Решение проблемы считывания показаний счетчиков. Электроника-1991, №9. с.3-4.

Сведения об авторах:

Эшов Зулфон Субхонович – соискатель кафедры «Электроснабжения» Горно-металлургического института Таджикистана.

Тел.: (+992) 93-222-22-95. E-mail: zulfon.eshov@mail.ru

РАЗРАБОТКА И УЛУЧШЕНИЯ СХЕМЫ АЧР ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DIGSILENT

*Махмадсаидзода М.М. Аминова С.М. Джамшедзода Х.
ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан*

***Аннотация.** Системные аварии, сопровождающиеся нехваткой активной мощности и значительным снижением частоты, являются одними из самых серьезных проблем, с которыми сталкивается энергосистема (ЭС). В таких ситуациях может произойти явление, известное как лавина частоты, это явление сопряжено с полным отключением дефицитной части ЭС и приводит к остановке всех электростанций, вызывая развал ЭС в целом.*

Для предотвращения и ограничения возможных последствий аварий, связанных с снижением частоты, широко применяется комплекс автоматики ограничения снижения частоты (АОСЧ). В данной статье представлена разработка цифровой модели для исследования энергосистемы – ЭС Таджикистана, которой используются с целью решения конкретно-поставленной задачи. Основной расчетной моделью для решения этой задачи является модель, разработанная в программной среде DiGSILENT (PowerFactory). Представляется краткое изложение результатов проверки работоспособности системы АОСЧ в модели сети, созданной в среде DiGSILENT (PowerFactory).

***Ключевые слова:** сброс нагрузки, пониженная частота, энергосистема, моделирование, проверка, автоматическое ограничение снижения частоты, автоматическая частотная разгрузка.*

Инфраструктура ЭС постоянно подвергается расширению, чтобы удовлетворить растущего спроса нагрузки. Это связано с естественным ростом нагрузки и ожидаемым повышением спроса на электроэнергию. Следовательно, электрические сети будут больше подвержены влиянию во время нарушений и отключений. Нарушениями, испытываемыми сетями электроэнергетической системы, являются неисправности после коммутационных операций, внезапный сброс нагрузки или отключение основных линий электропередачи [1]-[4].

Известно, что при сильном повышении нагрузки и соответственно нарушения баланса активной мощности, частота снижается [5]-[6]. Как правило, схема отключения нагрузки реализуется поэтапно. Эффективность схемы зависит от адаптивного отключения нагрузки.

ЭС Таджикистана, как и другие ЭС состоит из несколько подсистем – северная часть, связана с южной частью одноцепной линией 500 кВ. Тем

временем, северная часть страны обладает большим количеством промышленных предприятий. Нормальная работа ЭС Таджикистана обычно составляет 49,8 - 50,2 Гц в системе 50 Гц. При снижении частоты до 49,8 Гц горячий резерв генераторов мобилизуется в течение 2-4 секунд. Если частота продолжает снижаться, традиционно запускается система АОСЧ. Она срабатывает с частотой 48,8 Гц с выдержкой времени 0,3 с. (АЧР-1). Допустимые пределы частоты были определены в нормативно-технических документах по управлению электроэнергетическим режимом ЭС.

С. Восстановление нагрузки: после успешной реализации схемы отключения нагрузки частота системы стабилизируется, а затем восстановится до 50 Гц. При нормальной работе энергосистемы общий дисбаланс мощности можно оценить по общей генерируемой мощности и мощности нагрузки [5]. Если баланс генерации и нагрузки существенно нарушен, то частота системы изменится согласно уравнению качания (1).

$$\frac{2H_i}{f_n} \frac{df_i}{dt} = P_{mi} - P_{ei} = \Delta P_i \quad (1)$$

где f_n - номинальная частота системы, H_i - постоянная инерции, f_i - частота в Гц, P_{mi} - механическая мощность генератора в о.е., P_{ei} - электрическая мощность генератора в о.е., ΔP_i - дефицит мощности в о.е. Путем добавления N уравнений качания общий дисбаланс генерации нагрузки может быть получен из следующего выражения [6]:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N \Delta P_i = \frac{2 \sum_{i=1}^N H_i df_c}{f_n} \frac{df_i}{dt} = \varepsilon \frac{df_c}{dt} \quad (2)$$

$$f_c = \sum_{i=1}^N H_i f_i / \sum_{i=1}^N H_i, \text{ и } \varepsilon = \frac{2}{f_n} \sum_{i=1}^N H_i \quad (3)$$

где, f_c - частота эквивалентного центра инерции и постоянная ξ могут быть рассчитаны заранее. Уравнение (1) устанавливает приблизительную величину дефицита.

Постоянная инерция в уравнении (1) представляет собой константы инерции всех машин и в системе указаны на базе МВА. Подробная теоретическая формулировка анализа Q-V приведена в [5], и показано, что количество отключаемой нагрузки можно рассчитать, используя следующую эмпирическую формулу:

$$S_i = \sum_{i=1}^N \Delta P_i = \frac{\left(\frac{dV_i}{dQ_i} \right)}{\left[\sum_{i=1}^N \frac{dV_i}{dQ_i} \right]} \Delta P_i \quad (4)$$

Уставки реле и приоритет нагрузки

Данные АЧР, использованные в этой статье, представлены в таблице 1. Объем и количество очередей изменились по сравнению с существующей схемой АЧР. В этой схеме также больше уставок по частоте.

Таблица 1 – Уставки АЧР-1, АЧР-2 и ЧАПВ

Ступень	Фустр1 (Гц) АЧР-1	Td1(с) АЧР-1	Фустр2(Гц) АЧР-2	Td2(с) АЧР-2	Фустр3 (Гц) ЧАПВ	Td3(с) ЧАПВ
1	48.8	0,3	48.8	5	50.2	1
2	48.7	0,3	48.8	10	50.2	2
3	48.6	0,3	48.8	15	50.2	3
4	48.5	0,3	48.8	20	50.2	4
...
21	46.7	0,3	48.8	105	50.2	21

Для проверки математической модели процессов возникновения дефицита активной мощности $\Delta P_{\text{оэф}}$, и оценки работы АОСЧ рассматривается схема энергосистемы северной части ЭС Таджикистана (рис.1), где недостающая мощность передается от объединенной энергосистемы по воздушной линии электропередачи (ВЛ).

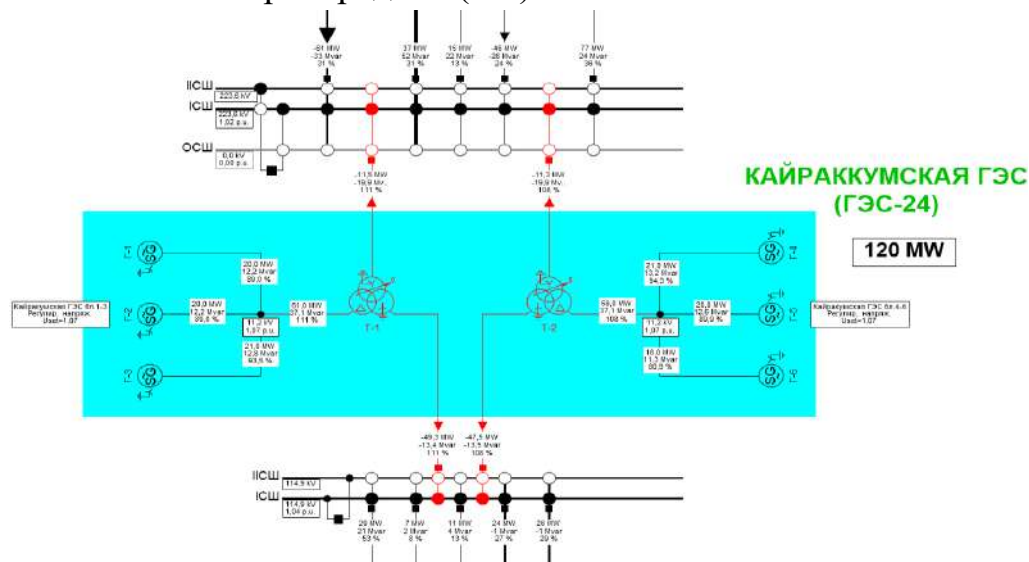


Рис. 1– Фрагмент моделируемой сети рассматриваемого энергорайона в исходном режиме в среде DiGSILENT (PowerFactory)

В табл. 2 приведены исходные данные, определяющие варианты проведения опытов.

Таблица 2 – Исходные данные опытов моделирования

№ Опытов	P _н , МВт	P _{ст} , МВт	ΔP _{деф}		f _н , Гц	f _к , Гц	f _{АЧР-П} , Гц	Δt _{АЧР} , с
			МВт	%				
1	140	126	14	10	48,8	46,5	48,8	0,3с
2	157,5		31,5	20				
3	180		54	30				

При скачкообразном возникновении дефицита и действии АОСЧ видно, что приводят к отключениям нагрузки, подъему частоты до 50 Гц. После успешного выполнения указанных действий были получены на модели следующие результаты, показанной ниже на рис. 2.

Таким образом был получен положительный эффект в работе АОСЧ с

использованием предлагаемой схемы для предотвращения лавины частоты и явления излишнего отключения нагрузки, приводящего к перерегулированию, особенно при больших дефицитах активной мощности и малой постоянной времени энергосистемы.

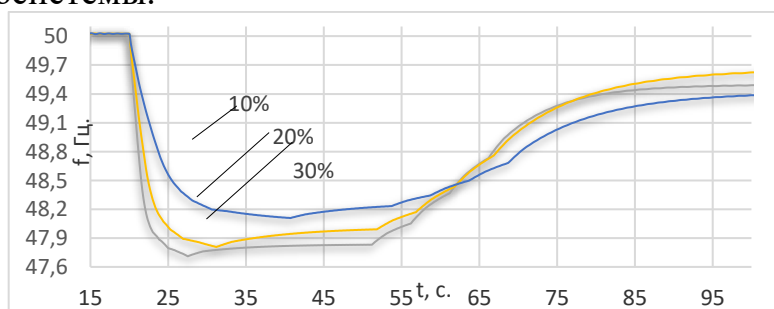


Рис. 2 – Осциллограммы изменения частоты во времени при $\Delta P=10\%$, $\Delta P=20\%$ и $\Delta P=30\%$,

Выводы

В настоящей работе рассмотрена существующая схема АЧР в ЭС Таджикистана. Был предложен схема отключения нагрузки, которая учитывает изменения частоты при аварийном снижении частоты, особенно при потере генерации. Путем динамического моделирования сетей ЭС с несколькими машинами была оценена чувствительность частотной характеристики ЭС к местоположению дефицита и эффектам существующих и предлагаемых схем отключения нагрузки.

Литература

1. Jan Machowski, Janus W. B., James R. Bumby, *Power System Dynamics*, Jhone Wiley and Sons, 2nd Edition
2. P.M Anderson, A.A. Fouad (2003), *Power System Control and Stability*, IEEE series on Power Engineering, John Wiley and Sons, Second Edition.
3. P. Kundur's, (1994), *Power System Stability and Control*, Electric Power Research Institute-Power System Engineering series, McGraw- Hill.
4. William D. Stevenson Jr., (1982), *Elements of Power System Analysis*, Electrical & Electronic Engineering Series, Mc-Graw-Hill, Fourth Edition.
5. K Mollah, "Under-voltage and Under-frequency Load Shedding Scheme", ME Thesis, University of Auckland, 2010.
6. Joshi, Poonam M., "Load shedding algorithm using voltage and frequency data," Clemson University, Pages 96, AAT1447716, 2007.

Сведения об авторах:

Махмадсаидзода М.М. – магистрантка кафедры «Релейной защиты и автоматики» Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Джамшедзода Х. – магистрант кафедры РЗ и АЭ ТТУ имени академика М.С. Осими

Аминова С.М. – магистрантка кафедры РЗ и АЭ ТТУ имени академика М.С. Осими.

ХУСУСИЯТҲОИ ҶИМОЯИ ДИФФЕРЕНЦИАЛИ ТУЛИИ МИКРОПРОЦЕССОРИИ ТРАНСФОРМАТОР

Раҳимов М.Қ., Хокироев К.И. Насруллоев Д. Х. Рустамзода С. Р.

Роҳбари илмӣ- н.и.т. Қосимов У.У.

ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ. ш. Душанбе, Тоҷикистон

E-mail: rahimovmuhamad331@gmail.com

Аннотатсия: *Вазифаҳоро дида шудааст, ки бояд барои баланд намудани эътимоднокии системаҳои ҷимояи трансформатор, қисман барои ҷимояи чараёни дифференциалии трансформатор ҳал намуд. Тарзҳои ҳалли вазифаҳои додашуда бо ёрии ҷимояи релей ва автоматикаи рақамии ҳозиразамон нишон дода шудааст.*

Калимаҳои калидӣ: *трансформатор, ҷимояи релей, ҷимояи дифференциалӣ, магнитнокшавӣ, микропроцессорӣ*

FEATURES MICROPROCESSOR DIFFERENTIAL CURRENT PROTECTION OF TRANSFORMERS

Annotation: *The problems that need to be solved to improve the reliability of the power transformer protection system, in particular its differential current protection, are considered. Methods for solving these problems using modern digital security and automation tools are indicated.*

Keywords: *transformer, relay protection, differential protection, magnetization, microprocessor.*

Трансформаторҳои қуввагӣ васеъ истифода мешавад, ки барои кори дурусти онҳо ҷимояи хуб лозим аст.

Ба ҷимояи асосии трансформаторҳо дохил мешаванд [1]:

- Ҷимояи чараёни дифференциалӣ.
- Ҷимояи чараёни максималӣ.
- Ҷимоя аз серборӣ ба сигнал.
- Ҷимояи газӣ.

Ҷимояи дифференциалӣ ба ҳайси ҷимояи асосии зудамали трансформатор истифода мешавад, ки диққати махсусро талаб мекунад.

Бартарияти асосии чунин ҷимоя дар он аст, ки интихобияти комил ва зудамалии баландро дорост.

Ба онҳо дохил мешаванд [2]:

1. Мавҷудияти бакордароии нодурусти ҷимоя, ҳангоми чаҳиши чараёни магнитнокшавӣ дар вақти пайвастунии трансформатор таҳти шиддат ё ин, ки ҳангоми барқарорнамоии шиддат баъд аз хомушнамоии расиши кутӯҳи

наздик.

2. Нобаробарии қимати чараёни печайи дуҷуми ТЧ, ки бо сабаби мушкилии интихоби коэффитсиенти табдилдиҳии трансформаторҳои чараёнии старндарти пайдо мешаванд.

3. Нодуруст хомушнамоӣ, ҳангоми танзимкунии шиддат дар як тарафи трансформатор, ки бо сабаби речаҳои ТШБ (РПН) ба амал меояд.

4. Мураккабии схемаи пайвасти ТЧ ҳангоми якхела набудани схемаҳои пайвасти ғалтаки трансформатор.

Хусусиятҳои кори трансформаторҳои қуввагӣ ва як қатор хусусиятҳои ҷимояи дифференциалиро муайян менамоем, ки барои иҷрои онҳо, бояд ду масъалаи асосиро ҳал намуд:

1. Чуркунӣ аз қаҳиши чараёни магнитнокшавӣ.

2. Чуркунӣ аз чараёни нобаробарӣ ҳангоми расиши кутоҳи беруна.

Тадбирҳои қабулшудаи чуркунии ҷимояи чараёни дифференциалӣ бо релеҳои электромеханикӣ, ҳассосияти онро назаррас кам менамоем ва таҷҳизотҳои гаранбаҳоро зери хатар менамоем.

Дар вақтҳои охир бисёртар ҷимояҳои микропротсессории трансформаторҳои қуввагии истеҳсоли хориҷа истифода мешавад, ки ҷимояи чараёни дифференциалиро дорост.

Коркардҳои ҳозиразамон дар ҳудуди таҷҳизоти микропротсессорӣ раванди чуркунӣ ва истифодабарии ҷимояҳоро назаррас сода менамоем.

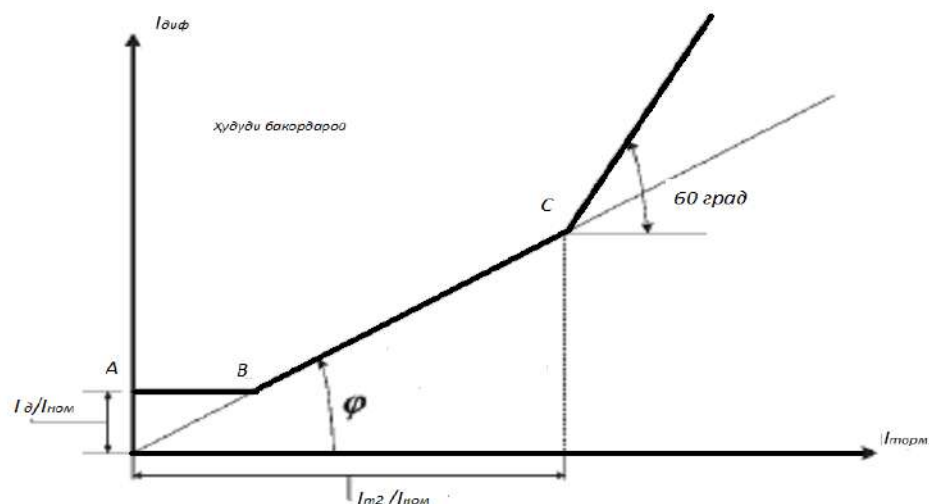
Хусусиятҳои асосии ҷимояи чараёни дифференциалии микропротсессориро дар мисоли терминали «Сириус-Т» [2] дида мебароем.

1. Хусусияти чуркунии бақордароии чунин ҷимоя аз чараёнҳои расиши кутоҳи беруна, истифодаи характеристикаи тормоздиҳии барномавӣ (расми 1) мебошад.

Қитъаи АВ –аввала, дар он чараёни бақордароии аз тормоздиҳӣ вобастагӣ надорад.

Дар нуқтаи В характеристикаи қитъаи аввала бо характеристикаи якуми тормоздиҳӣ бурида мешавад, ки кори онро дар вақти чараёни расиши кутоҳи кам, ҳангоми хатогии ками трансформатори чараёнӣ таъмин менамоем.

Қитъаи сеюм ҳамии зиёдро дорост, ки ба 60^0 баробар аст ва зиёдшавии хатогии трансформатори чараёниро ҳангоми чараёни расиши кутоҳи зиёд ба инобат мегирад.



Расми 1. Харатеристикаи тормоздиҳии барномавӣ

Ҳамин тавр, хати шикастаи ABC ҳамвори ба ду қисм- худуди бакордароӣ ва кор накардан ҷудо менамояд. Ҳамаи он, ки боло аз хати шикаста ҷойгир аст, худуди бакордароӣ ва поёназ он, худуди кор накардан ба ҳисоб меравад.

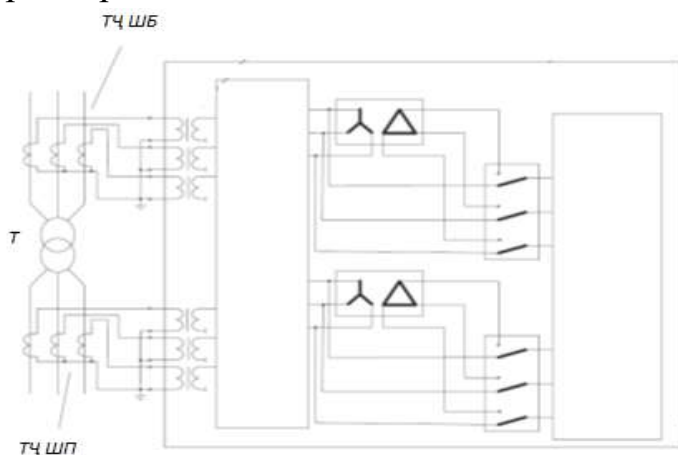
Бояд ба инобат гирифт, ки тарзи қабулнамудаи ташаккули ҷараёни тормоздиҳӣ, ҳангоми расиши кутоҳи даруна ва ҳатто ҳангоми манаби яктарафа тормоздиҳӣ низ вучуд дорад. Аммо дар ин ҳолат ҷараёни тормоздиҳӣ ду маротиба аз дифференсиалӣ хурд мебошад ва ҳасосияти ҷимояро бо вучуди ин, бо китъаи АВ-и характеристика муайян менамояд.

2. Блоки ҷимояи микропротсессорӣ ҷубронкунии лағжиши ҷараёни фазавино дар печаи дуҷуми трансформатори ҷараёни ба воситаи ТҶ рақамии даруни (расми 2) иҷро мекунад. Лозим аст, ки танҳо барномави гуруҳи пайвасти трансформатори қуввагиро дохил намуд. Дар ин ҳолат пайвасти электрикии трансформаторҳои ҷенкунандаи ҷараён дар тарафҳои шиддати баланд (ШБ) ва паст (ШП) ҳамавақт бо ситора мебошанд. Ин тарз имконият медиҳад, ки борро ба ТҶ-и ҷенкунанда кам намуда, инчунин кори мушаххаси дастгоҳро таъмин намояд.

3. Дар дастгоҳ ислоҳи ҷараёни нобаробарӣ ба воситаи блоки муқоисакунӣ иҷро карда мешавад (ниг.ба рас.2). Нобаробарӣ аз ҳисобӣ тағйирдиҳии ҳолати ТШБ (РПН) пайдо мешавад, ки муқоисанамои танҳо ҳангоми бори зиёда аз 30% -и номиналӣ бакор даромада суғ амал менамояд. Бинобар ин, он ҳангоми бори кам ва расиши кутоҳ амал наменамад.

4. Аз сабабе, ки дар ҷаҳиши ҷараёни магнитнокшавӣ шумораи зиёди гармоникаҳои ҷуфт вучуд дорад, асосан дуҷум, блокбанди аз бакордароии ҷимояи ҷараёни дифференсиалӣ аз руи гармоникаи дуҷум истифода мешавад, ки ҳангоми баробар шудан ба қиёсаки муайян ҷудо мешаванд.

Мавҷудияти чуни блокбандӣ имкон медиҳад, ки ҷараёни бақордароии Ҳимояи дифференсалиро як миқдор хурдтар аз ҷараёни номиналии трансформатор интиҳоб намоем.



Расми 2. Схемаи структуравии блоки Ҳимояи микропротсессорӣ

Адабиёт

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения М.: Высшая школа, 2008г.
2. Шабад М.А. Защита трансформаторов распределительных сетей –Л.: Энергоиздат, 1981.
3. Руководство по эксплуатации микропроцессорного устройства основной защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т». 2006.
4. <https://www.rza.ru/catalog/ustroystva-zashchity-transformatorov-6-220-kv/sirius-t.php>.
5. А.М. Федосеев. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: Учеб. пособие для вузов - . М., Энергоатомиздат, 1984 г.- 520.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Раҳимов Маҳмадалӣ Қурбоналиевич- магистранти курси 2-юми кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Ҳокироев Комёр Ибодуллоевич- магистранти курси 2-юми кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

Насруллоев Далер Хайруллоевич- магистранти курси 1-уми кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

Рустамзода Сино Рустам- магистранти курси 1-уми кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

ДАСТГОҶҶОИ МИКРОПРОТСЕССОРИИ ҶИМОЯИ РЕЛЕӢ

*Раҳимов М.Қ., Хокироев К.И., Рустамзода С. Р., Муҳаммадиев Т. Р.
Роҳбари илмӣ- н.и.т. Қосимов У.У.
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӯ. ш. Душанбе, Тоҷикистон
E-mail: rahimovmuhamad331@gmail.com*

***Аннотатсия:** Дастгоҳҳои электрони муосир наметавонанд ба ҷимоя аз шиддати паст ва баланди ноҷоизи шабакаҳои таъминкунанда кор кунанд. Барои амалӣ гардондани ин функсияҳо, схемаҳои гуногун таҳия карда шудаанд. Принципи кори онҳо дар дастгоҳе, ки релеи шиддат меноманд, асос ёфтааст. Ба истиснои функсияҳои ҷимоякунанда чунин схемаҳо барои автоматикунонии равандҳои истеҳсолӣ истифода менамоянд, ки онҳоро дар техникаи маишӣ, мошинсозӣ ва ғайра дидан мумкин аст. Истифодаи релеи шиддат муддати зиёд барои лоиҳакашӣ ҳангоми коркарди схемаҳои электрикӣ ва электронӣ маълум аст.*

***Калимаҳои калидӣ:** схема, ҷимояи релеӣ, релеи шиддат, функсияҳо, микропротсессорӣ.*

MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION DEVICES

***Annotation:** Modern electronic devices cannot do without protection from unacceptably low or high voltage of the supply network. A variety of threshold schemes have been developed to implement these functions. The principle of their operation is based on a device called a voltage relay. In addition to protective functions, such circuits are used in the automation of production processes, they can be found in household appliances, they are successfully used in the automotive industry, etc. The use of voltage relays has long been a sign of good design when developing circuits for electrical and electronics.*

***Keywords:** circuit, relay protection, voltage relay, functions, microprocessor.*

Дастгоҳҳои микропротсессории ҷимояи релеӣ

Зиёда аз 20 сол мешавад, ки ба таври оммавӣ таҷҳизотҳои нав барои ҷимояи объектҳои энергиятаъминкунӣ дар асоси технологияи компютерӣ дар базаи протсессорҳо истифода мешаванд.

Онҳо функсияҳои дастгоҳҳои оддии ҷимояи релеӣ дар асоси базаи нави элементӣ-микронтроллерҳо (элементҳои микропротсессорӣ) иҷро менамоянд.

Коркарди ҳозиразамон дар соҳаи техникаи микропротсессорӣ имконият фароҳам овард, ки дастгоҳҳои ҷимояи релеӣ ва автоматикаи ҳозиразамонро созанд, ва бар ивази дастгоҳҳои релеии электромеханикӣ истифода баранд. Дар ин мақола кутоҳ оиди дастгоҳҳои микропротсессории ҷимояи релеӣ ва автоматикаи

ҳозиразамони таҷҳизоти электрикӣ ва инчунин афзалияту норасогии онҳо оварда шудааст. [1].

Афзалиятҳо:

Истифода накарданӣ релеҳои электромеханикӣ ва статикӣ, ки андозаҳои зиёд доранд, имкон медиҳад, ки ҳарчи хубтару зиёдтар дар панелҳои ҲРваА таҷҳизотҳоро ҷойгир намоем. Чунин сохт ва намуд ҷойҳои камро ишғол менамоянд. Дар натиҷа идоракунӣ ба воситаи тугмаи сенсорӣ ва намолавҳа осон ва равшантар шуд.

Намуди берунаи панел, ки блоки ҷимояи релеи микропротсессори дар бар мегирад, дар расм оварда шудааст. Дар шароити имруза истифодаи дастгоҳҳои микропротсессории ҷимояи релеӣ яке аз самтҳои асосӣ барои рушди дастгоҳҳои ҷимояи релеӣ ба ҳисоб меравад. Ғайр аз вазифаҳои асосии ҲРваА – бартарарнамоии речаҳои садамавӣ, технологияи нав имкон медиҳад, ки як қатор функцияҳои иловагиро амалӣ намоем.



а)



б)

Расми 1. Панели ҲРваА бо ҷимояҳои микропротсессорӣ
а) намуд аз пеш б) намуд аз қафо

Дар расми 1 панели ҲРваА бо ҷимояҳои микропротсессорӣ таҷҳизонидашуда оварда шудааст.

Ба онҳо дохил мешаванд:

- бақайдгирӣ равандҳои ҳолати садамавӣ;
- пешгири намудани хомушнамоии истеъмолкунандагон ҳангоми вайроншавии устувории система;
- қобилият ба захиранамоии дур.

Амали намудани чунин имкониятҳо дар базаи ҷимояи электромеханикӣ ва дастгоҳҳои аналогӣ бо назардошти мушкилиҳои техникӣ ғайриимкон мебошад.

Системаи микропротсессории ҳимояи релей низ бо ҳамон усули зудамалий, интихобият, ҳассосият ва эътимодноқӣ ба монанди релеҳои оддӣ кор мекунанд.

Дар раванди истифодабари на танҳо афзалиятҳо балки норасогиҳо низ муайян карда шудааст, ки бо як қатор нишондиҳандаҳо то ҳол баҳсҳо байни истеҳсолкунандагон ва истифодабарандагон идома дорад.

Ба афзалиятҳои назарраси дастгоҳҳои микропротсессории ҳимоя бисёрфункционалии он дохил мешавад. Дастгоҳҳои микропротсессорӣ ченкунии бузургиҳои электрикии асосиро иҷро менамояд. Яъне чунин дастгоҳҳо на танҳо бар ивази дастгоҳҳои ҳимоявӣ, инчунин бар ивази дастгоҳҳои ченкунандаи аналогӣ истифода мешавад.

Масалан терминали ҳимояи хати интиқоли барқи 110кВ функцияи ҳимояи масофавӣ, ҳимояи ҷараёни самтии пайдарҳамии сифриро иҷро менамояд, инчунин ченкунии бузургиҳои электрикии асосиро амалӣ менамояд. Дар намолавҳаи кристалии моеъгии дастгоҳи додасуда кормандони хизматрасони дастгоҳҳои электрикӣ метавонанд бори хати интиқолро аз руи фазаҳо, шиддат, тавоноии фаъл ва ғайрифаъоли истеъмолкунандаро назорат намоянд. [2].

Ҳар як барқчие, ки хизматрасонии фаврии зеристгоҳро иҷро менамояд, бо чунин схема-макет (схемаи фаврӣ) шинос мебошад. Ҳангоми иҷрои амалиёти васлтағйирдиҳӣ, барқчӣ иҷрои тағйиротро дар схема-макет дасти нишон медиҳад. Ин барои он, ки бовари ҳосил намудан ба дурустӣ ва кифоя будани амалиёти иҷрошуда, инчунин барои осонии назорати ҳолати дастгоҳҳои коммутатсионӣ зарур мебошад. Дастгоҳҳои микропротсессорӣ боз як функцияи муфиди инъикоси мнемосхемаи пайвастагиро доро мебошад. Ин функция имконияти назорат намудани ҳолати дастгоҳҳои коммутатсионӣ, заминвасларо дорад. Дастгоҳҳои микропротсессории ҳама зеристгоҳҳои байни худ пайваस्तбуда ба системаи SCADA пайваस्त менамоянд, ки дар онҳо ҳамаи схемаи зеристгоҳҳо нишон дода мешавад. Дар ин ҳолат системаи SCADA ивази алтернативии схема макет мебошад. Агар дар схема макет тағйирдиҳии ҳолати дастгоҳҳои коммутатсионӣ ба таври дастӣ қайд карда шавад, он гоҳ дар системаи SCADA ин функция автоматӣ иҷро мегардад.

Камбудиҳо:

Бисёр харидорони дастгоҳҳои микропротсессории ҳимояи релей аз кори ин система бо шарофати арзиши баланд, таъмирталаби паст доштан, қаноатманд нестанд.

Агар ҳангоми корношоям шудани дастгоҳҳои дар базаи нимноқилӣ ё электромеханикӣ коркунанда кифоя аст, ки ҷузъи алоҳидаи корношоямро иваз намоянд, вале дар ҳимояҳои микропротсессорӣ дар бисёр мавридҳо зарур аст пурра платаро иваз намоянд, ки арзиши он қариб аз як се ҳиссаи нархи таҷҳизотро ташкил медиҳад. Инчунин барои иваз намудан, вақти бисёр дар ҷустуҷуи ҷузъҳо сарф

мешавад: ивазшавандагӣ дар чунин дастгоҳҳо ва ҳатто дар бисёр конструкияи якнамудаи як истеҳсолкунанда пурра имконият надорад.

Дастгоҳҳо дар байни истеҳсолкунандагон аз руи дастрасӣ, андозаҳо, камистифодабарӣ, дақиқӣ, назорати параметрҳо, истифодабарии қулай ва арзиш фарқ мекунанд.

Хулоса

Дар кори дода шуда ҳалли масъалаҳои дар аввал гузошташуда баррасӣ шудааст.

Дастгоҳҳои микропротсессории ҷимояи релей дида баромада шудааст. Дар айни ҳол ҷимояи релей ва автоматикаи микропротсессорӣ самти асосии рушди ҷимояи релей мебошад. Ғайр аз функцияҳои асосӣ-хомушнамоии садамавии системаи энергетикӣ, ҷимояи релей ва автоматикаи микропротсессорӣ функцияи иловагӣ бо муқоиса аз дастгоҳҳои ҷимояи релей дигар намудҳо (релей электромеханикӣ) бо бақайдгирии ҳолати садамавиरो дорад.

Дар як қатор намудҳои дастгоҳҳо речаи иловагии ҷимоя, масалан функцияи пешгирии хомушнамоии муҳаррикҳои электрикии синхронӣ ҳангоми вайроншавии устуворӣ, функцияи захиракунии дури азкормонии ҷимоя ва васлақ ворид карда шудааст. Функцияи додасишуда дар дастгоҳҳои ҷимояи релей электромеханикӣ ё ин, ки аналогӣ амалӣ карда намешавад.

Адабиёт

1. Червоный, А. Л. Реле и элементы промышленной автоматики. Практическое пособие для инженеров [Текст] / А. Л. Червоный. — М.: РадиоСофт. — 2012. — 208 с.
2. Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей [Текст] / М. А. Шабад. — СПб:
3. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения М.: Высшая школа, 2008г.
4. Шабад М.А. Защита трансформаторов распределительных сетей – Л.: Энергоиздат, 1981.
5. Руководство по эксплуатации микропроцессорного устройства основной защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т». 2006.
6. <https://www.rza.ru/catalog/ustroystva-zashchity-transformatorov-6-220-kv/sirius-t.php>.

Маълумот дар бораи муаллиф:

Раҳимов Маҳмадалӣ Қурбоналиевич- магистранти курси 2-юми кафедраи «Ҷимояи релей ва автоматикунории системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Хокироев Комёр Ибодуллоевич- магистранти курси 2-юми кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

Рустамзода Сино Рустам- магистранти курси 1-уми кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

Муҳаммадиев Туйчибой Расулович - магистранти курси 1-уми кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

РАСЧЕТЫ РЕЖИМА РАБОТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ РЕГАР – СУРХАН

Билолов Б.М.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
научный руководитель к.т.н., доцент Л.С. Касобов

Аннотация: В статье рассматриваются различные режимы работы линий электропередачи Регар – Сурхан и выбор компенсирующих устройств.

Ключевые слова: линий электропередачи, нагрузка, режим, шунтирующий реактор.

Annotation: The article examines various operating modes of the Regar – Surkhan power transmission lines and the choice of compensating devices.

Keywords: transmission lines, load, mode, shunt reactor.

В настоящее время между Республикой Таджикистан и соседними государствами имеется 13 линий электропередач различного напряжения, в том числе 2 ЛЭП 500 кВ, 6 ЛЭП 220 кВ, 4 ЛЭП 110 кВ и 1 ЛЭП 35 кВ, общей пропускной способностью 4570 МВт, из которых 3500 МВт приходится на ЛЭП между Таджикистаном и Узбекистаном.

Начиная с апреля 2018 года экспорт электроэнергии в Республику Узбекистан осуществляется линиями электропередач 220 кВ «Регар - Гулча», «Регар - Дехнав», «Узловая – Сирдаринская ГРЭС -1», «Узловая – Сирдаринская ГРЭС -2» и линии электропередач 500 кВ «Регар - Сурхан».

Частичное использование вышеуказанных линий в зимний период связано из – за отсутствие избыточной электроэнергии, а загрузки ЛЭП в летний период из – за избыточной электроэнергии.

Последствия этих может быть выражено в двух аспектах. Во-первых, ухудшаются экономические характеристики, во-вторых, технико - экономические.

Для этой цели необходимо, рассчитать режим работы электропередачи (рис. 1) при следующих условиях:

- реакторы со стороны приёмной системы считаем отключенными;
- в линии учитываются потери на нагрев и корону;
- мощность в начале линии равна максимальной активной мощности $P1' = P_{max} = 800$ МВт;
- реактивная мощность в начале линии равна $Q1' = 0,1 \cdot P_{max} = 80$ Мвар
- напряжение со стороны отправной системы: $U1' =$ равна $U_{ном} = 500$ кВ.

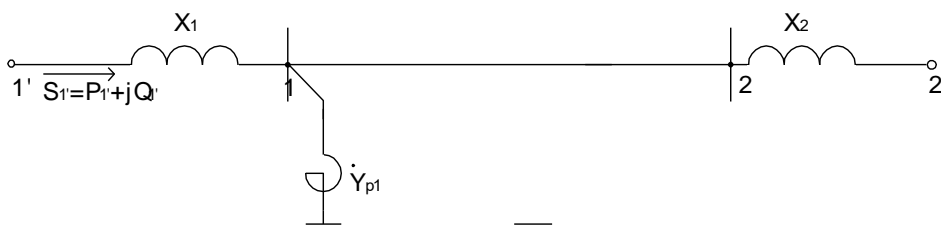


Рисунок 1 - Расчетная схема электропередачи

Расчеты проводятся в двух вариантах:

1) ВЛ представляется четырехполюсником с параметрами \dot{A} , \dot{B} , \dot{C} , \dot{D} вычисленными с учётом потерь в линии. Далее определяются параметры четырехполюсника, эквивалентирующего всю электропередачу:

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_3 &= A_{31} + jA_{32} = A_3 e^{jY_A} \\ \dot{B}_3 &= B_{31} + jB_{32} = B_3 e^{jY_B} \\ \dot{C}_3 &= C_{31} + jC_{32} = C_3 e^{jY_C} \\ \dot{D}_3 &= D_{31} + jD_{32} = D_3 e^{jY_D} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Если параметры эквивалентного четырехполюсника определены верно, то должны выполняться следующие скалярные соотношения:

$$\left. \begin{aligned} A_3 \cdot D_3 \cdot \cos(Y_A + Y_D) - B_3 \cdot C_3 \cdot \cos(Y_B + Y_C) &= 1 \\ A_3 \cdot D_3 \cdot \sin(Y_A + Y_D) - B_3 \cdot C_3 \cdot \sin(Y_B + Y_C) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Режимные параметры конца электропередачи определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} P_{2'} &= -D_3 C_3 U_{1'}^2 \cos(Y_D - Y_C) - A_3 B_3 \frac{S_{1'}^2}{U_{1'}^2} \cos(Y_B - Y_A) + \\ &+ [A_3 D_3 \cos(Y_D - Y_A) + B_3 C_3 \cos(Y_B - Y_C)] P_{1'к} + \\ &+ [B_3 C_3 \sin(Y_B - Y_C) - A_3 D_3 \sin(Y_D - Y_A)] Q_{1'} - \frac{\Delta P_K}{2} \\ Q_{2'} &= -D_3 C_3 U_{1'}^2 \sin(Y_D - Y_C) - A_3 B_3 \frac{S_{1'}^2}{U_{1'}^2} \sin(Y_B - Y_A) + \\ &+ [A_3 D_3 \sin(Y_D - Y_A) + B_3 C_3 \sin(Y_B - Y_C)] P_{1'к} + \\ &+ [A_3 D_3 \cos(Y_D - Y_A) + B_3 C_3 \cos(Y_B - Y_C)] Q_{1'} \\ U_{2'} &= U_{1'} \sqrt{D_3^2 + P_{*1'к}^2 - 2(D_{31} \cos Y_B + D_{32} \sin Y_B) P_{*1'к} +} \\ &\rightarrow \sqrt{Q_{*1'}^2 - 2(D_{31} \sin Y_B - D_{32} \cos Y_B) Q_{*1'}} \end{aligned}$$

$$P_{1'K} = P_{1'} - \frac{\Delta P_K}{2}, \quad (3)$$

$$S_{1'K}^2 = P_{1'K}^2 + Q_{1'}^2, \quad (4)$$

$$P_{*1'K} = P_{1'K} \cdot \frac{B_{\varnothing}}{U_{1'}^2}, \quad (5)$$

$$Q_{*1'K} = Q_{1'} \cdot \frac{B_{\varnothing}}{U_{1'}^2} \quad (6)$$

После этого рассчитывается угол сдвига фаз между векторами напряжения по концам электропередачи

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{D_{\varnothing 2} U_{1'}^2 - B_{\varnothing 2} P_{1'K} + B_{\varnothing 1} Q_{1'}}{D_{\varnothing 1} U_{1'}^2 - B_{\varnothing 1} P_{1'K} + B_{\varnothing 2} Q_{1'}} \quad (7)$$

2) ВЛ представляется П-образной схемой замещения (рис.2), параметры которой определены ранее.

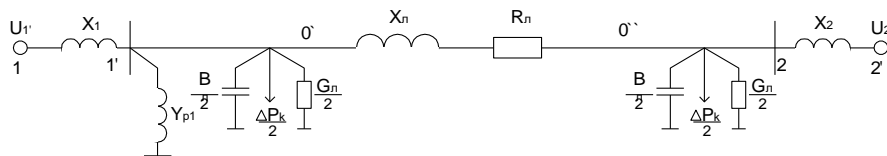


Рисунок 2 - П-образная схема замещения электропередачи для расчета режима

Расчет выполняется последовательно слева направо от одного элемента схемы замещения к другому. На каждом шаге определяются значения мощностей и вектора напряжения (модуль и фаза) в точках 1, 2 и 2'. Расчет выполняется по известным из курса «Электрических сетей и систем» формулам.

Рассчитываем мощность после трансформатора:

$$S_{1'1K} = S_{1'1H} - \Delta S_{1'1} = S_{1'1H} - i \cdot \frac{P_{1'1H}^2 + Q_{1'1H}^2}{U_{1'}^2} \cdot X_1, \quad (8)$$

$$S_{1'1K} = (800 + j80) - i \cdot \frac{800^2 + 80^2}{500^2} \cdot j85,56 = 800 - j141,212 \text{ МВА}$$

Рассчитываем напряжение в узле 1:

$$|U_1| = U_{1'} - \frac{\bar{S}_{1'1H}}{\bar{U}_{1'}} \cdot jX_1 = 500 - \frac{800 - j80}{500} \cdot j85,56 = 505,21 \text{ кВ} \quad (9)$$

Мощность, втекающая в линию 1-2:

$$S_{12н} = S_{1'1к} + j \frac{B_{л}}{2} \cdot U_1^2 - \frac{\Delta P}{2} + j Y_{пл} \cdot U_1^2 - \frac{G_{л}}{2} \cdot U_1^2, \quad (10)$$

$$S_{12н} = (800 - j141,212) + j9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 505,21^2 - 1,68 + (-j1,3 \cdot 10^{-3}) \cdot 505,21^2 - 1,94 \cdot 10^{-6} \cdot 505,21^2 = 797,826 - j229,855 \text{ МВА}$$

Потери мощности в линии 1-2, мощность в конце этой линии и напряжение в точке 2:

$$\Delta S_{12} = \frac{|S_{12н}|^2}{U_1^2} \cdot Z_{л} = \frac{830,277^2}{505,21^2} \cdot (11,188 + j163,777) = 30,217 + j442,338 \text{ МВА}, \quad (11)$$

$$S_{12к} = S_{12н} - \Delta S_{12} = (797,826 - j229,855) - 30,217 - j442,338 = 767,609 - j672,192 \text{ МВА} \quad (12)$$

$$|U_2| = U_1 - \frac{\bar{S}_{12н}}{\bar{U}_1} \cdot Z_{л} = 505,21 - \frac{797,826 + j229,855}{505,21} \cdot (11,188 + j163,777) = 620,852 \text{ кВ} \quad (13)$$

Так как реакторы с приёмной стороны считаем отключенными, мощность в начале участка 2-2' будем находить без учёта проводимости $Y_{р2}$. Определим также потери в X_2 и мощность в конце участка 2-2'.

$$S_{22'н} = S_{12к} + j \frac{B_{л}}{2} \cdot |U_2|^2 - \frac{\Delta P}{2} - \frac{G_{л}}{2} \cdot |U_2|^2 \quad (20 \text{ декабря, } 2023 \text{ года})$$

$$= (767,609 - j672,192) + j9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 620,852^2 - 1,68 - 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 620,852^2 = 765,183 + j302,605 \text{ МВА} \quad (14)$$

$$\Delta S_{22'} = \frac{|S_{22'н}|^2}{|U_2|^2} \cdot X_2 = \frac{822,846^2}{620,852^2} \cdot j61,25 = j107,589 \text{ МВА}$$

$$S_{22'к} = S_{22'н} - \Delta S_{22'} = (765,183 + j302,605) - j107,589 = 765,183 - j410,193 \text{ МВА}$$

Напряжение в узле 2':

$$|U_{2'}| = U_2 - \frac{\bar{S}_{22'н}}{\bar{U}_2} \cdot (jX_{AT}) = 655,07 \text{ кВ}$$

Сравнивая значения, полученные при расчёте четырёхполосников в приложении В и рассчитанные вручную, видим, что они почти одинаковы.

Расчет зарядной мощности ВЛ и выбор шунтирующих реакторов

Для компенсации зарядной мощности ВЛ 330-1150 кВ применяются шунтирующие реакторы, число которых выбирается исходя из 70-100 % компенсации зарядной мощности.

Зарядная мощность линии равна:

$$Q_{\text{зар}} = 2 \cdot P_c(U_{\text{нб}}) \cdot \operatorname{tg} \frac{\lambda}{2} = 2 \cdot 905,36 \cdot \operatorname{tg} \frac{0,568}{2} = 528,55 \text{ Мвар} \quad (15)$$

$$P_c(U_{\text{нб}}) = \frac{U_{\text{нб}}^2}{Z_c} = \frac{525^2}{304,4} = 905,36 \text{ МВт}$$

где

- натуральная мощность линии при максимальном рабочем напряжении.

Число шунтирующих реакторов, устанавливаемых на линии, выбирается из соотношения

$$n_{\text{шр}} \geq \frac{0,7 \cdot Q_{\text{зар}}}{Q_{\text{шр}}} = \frac{0,7 \cdot 528,55}{180} = 2,005 \quad (16)$$

где $Q_{\text{шр}} = 3 \cdot 60 \text{ Мвар}$ – мощность трехфазной группы однофазных шунтирующих реакторов, выбираемая по справочным данным [5].

Принимаю к установке $n_{\text{шр}} = 2$.

Более мощной системой считаю вторую, так как мощность короткого замыкания в данной системе больше, чем в первой. Поскольку число устанавливаемых реакторов чётное, одну группу устанавливаю со стороны более мощной системы 2, одну – со стороны системы 1.

Заключение

Таким образом, для компенсации зарядной мощности ВЛ применяем две трёхфазные группы шунтирующих реакторов типа РОДЦ-6000/500 по 180 Мвар каждая.

Литература

1. Веников В.А., Рыжов Ю.П. Дальние линии электропередачи переменного и постоянного тока. –М.: Энергоатомиздат, 1985.-272с.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
3. Ананичева С. С. Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей: учеб. пособие / С. С. Ананичева, А. Л. Мызин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 108 с.
1. Ананичева С. С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учеб. пособие / С. С. Ананичева, А. Л. Мызин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 108 с

Сведения об авторах:

Билолов Б.М.– магистрант 2-го курса, группы 430101 Б кафедры «ЭС», ТТУ имени академика М.С. Осими.

20 декабря, 2023 года

**«ЭНЕРГЕТИКА:
СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО –
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

Издано в авторской редакции

Подписано к печати 16 декабря 2023 г.
Условный печатный лист 1,0. Формат 60x84/16. Тираж 20 экз.
ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими, 2023 г.

ISBN 978-99985-852-1-8



9 789998 585218