Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»

Молодая мысль – развитию энергетики

Материалы III(XVIII) Всероссийской
научно-технической конференции
студентов и аспирантов

23-27 апреля 2018 года

Братск
Издательство Братского государственного университета
2018

УДК 621.3; 681.5

Молодая мысль – развитию энергетики: материалы III(XVIII) Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 503 с.

Материалы конференции отражают основные результаты научно-исследовательской работы обучающихся факультета энергетики и автоматики Братского государственного университета, студентов и аспирантов других высших учебных заведений России в 2017/18 гг.

Оргкомитет:

В.А. Шакиров, *канд. техн. наук, доцент,*
декан факультета энергетики и автоматики
Ю.Н. Булатов, *канд. техн. наук, доцент,*
зав. каф. электроэнергетики и электротехники
А.А. Федяев, *докт. техн. наук, профессор,*
зав. каф. промышленной теплоэнергетики
И.В. Игнатьев, *канд. техн. наук, профессор,*
зав. каф. управление в технических системах
В.Н. Федяева, *канд. техн. наук, доцент,*
зам. директора КУИЦ «Иркутскэнерго-БрГУ»

© ФГБОУ ВО «БрГУ», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА…… 8
Асозода А.А., Шмарина Л.И. Перспективные способы ограничения токов короткого замыкания в электрических сетях ……... 8
Авдеева В.Ю. Триинги в полимерной изоляции и мероприятия по снижению появления……... 13
Алабужева А.А. Анализ потребления электроэнергии населением в Забайкальском крае…….. 14
Бастрыкин К.В. разработка конструкции катушки с малой индуктивностью 18
Бахмисов Д.Е., Угодин А.С., Смолярская А.А., Краева Н.А. Перспективы использования линий электропередач постоянного тока в России……. 22
Вовк С.В. Особенности прозрачных солнечных батарей…… 26
Вовк С.В. Совершенствование конструкций воздушных линий электропередачи……... 28
Гаранина Т.Е. Оптимизация тарифа на электроэнергию…….…….…..... 33
Дитятев Д.С. Контроль изоляции силового трансформатора методом измерения частичных разрядов…….……. 35
Дружинина Д.С., Лебедева В.А., Мисюркеев А.В., Слепцов Е.С., Майдонов Х.М. Новые технологии сжигания угля на ТЭС……. 39
Железовский И.В. Современные принципы использования преобразователей частоты…….. 42
Загустина И.Д., Трофимов А.В. Опоры ЛЭП из композитных материалов… 48
Зарипов И.И., Умутбаев Р.Р. Анализ систем головного освещения автомобилей…… 51
Иванов О.С. Применение инфракрасных датчиков для определения температуры вращающихся частей гидроагрегата ГЭС…….. 55
Карнаухов Н.С., Торощин В.А. Регламентирование требований обеспечения пожарной безопасности на предприятии……. 62
Кибец Д.С., Щепляков С.В. Солнечная черепица TESLA……. 66
Ковалькова М.Г. Опыт строительства и эксплуатации каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС с литой асфальтобетонной диафрагмой……. 68
Кондратьева К.С., Шабаев. **Р.Б.** Актуальность электроэнергетики в современном мире…… 74
Краева Н.А., Бахмисов Д.Е., Угодин А.С., Смолярская А.А. Ядерные энерготехнологии нового поколения на базе замкнутого топливного цикла с использованием реакторов на быстрых нейтронах…….. 76
Куприна К.А. Рекомендации по реконструкции открытого распределительного устройства 220 кВ на примере Угличской ГЭС……. 82
Лагунова Н.С. Моделирование режимов плавки гололеда на контактной сети методом короткого замыкания у поста секционирования……. 87
Лебедева В.А., Дружинина Д.С., Майдонов Х.М., Мисюркеев А.В., Слепцов Е.С. Электромагнитная совместимость микропроцессорных устройств релейной защиты…… 91

Лисицкая О.Д. Проблемы колебаний напряжения и фликера. Мероприятия по их нормализации……. 93
Лысков А.С. Разработка многокоординатного электромеханического устройства……. 99
Лэ Ван Тхао Моделирование электромагнитных полей коаксиальной трехсегментной линии электропередачи……... 104
Майоров А.А., Мингазов И.Ф., Умутбаев Р.Р. Ультразвуковой анемометр на микроконтроллере ARDUINO……. 108
Маркин Е. Ю. Элегаз в современной энергетике…… 110
Махмудов Т.Ф. К перспективам развития солнечной энергетики в Узбекистане…….. 115
Мингазов И.Ф., Майоров А.А., Умутбаев Р.Р. Разработка и обоснование электрической схемы измерителя тока…….. 118
Мисюркеев А.В., Санников Н.К, Ушаков И.М. Оценка суммарной солнечной радиации……. 119
Нгуен Ван Хуан Подключение высоковольтных двигателей с преобразователями частоты к шинам постоянного тока сетевого кластера….. 122
Нгуен Ты Электромагнитное влияние тяговой сети на железнодорожных станциях …… 127
Новиков Е.В. Необходимость применения сушки силовых трансформаторов в Иркутской области…… 131
Новиков Е.В. Необходимость измерения тангенса диэлектрических потерь .. 135
Першов С.В. Использование нетрадиционных способов производства электроэнергии для электроснабжения автономных потребителей в Иркутской области…….. 137
Поздняков С.Е., Пермяков Э.Р. Исследование режимов работы электроэнергетической системы с установками распределенной генерации… 143
Радченко М.И. Защита гидроцилиндра сегментного затвора Майнской ГЭС. 149
Репников В.Е. Проблема надёжности электроснабжения потребителей……. 154
Садыков И.И., Умутбаев Р.Р. Способы выполнения компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях…… 156
Санников Н.К. Управляемые шунтирующие реакторы для электрических сетей…….. 159
Санников Н.К. Методы оптимизации режимов работы электроэнергетических систем…… 163
Скорый А.В., Ефименко Л.А. Оценка суммарной солнечной радиации в поселке Наратай Братского района……. 167
Скутарь В.В., Загустина И.Д. Особенности систем оперативного тока подстанций…… 170
Смолярская А.А., Краева Н.А., Бахмисов Д.Е., Угодин А.С. Высокотемпературные сверхпроводящие кабельные линии постоянного тока 173
Трофимов А. В., Загустина И.Д. Механические характеристики проводов с нестандартными формами проволок…….. 177
Тупия Р. С. Системы автоматизации и диспетчеризации …….. 180
Угодин А.С., Бахмисов Д.Е., Смолярская А.А., Краева Н.А. Токамак и энергетика ядерного синтеза в России …….. 185

Умутбаев Р.Р., Мингазов И.Ф., Майоров А.А. Алгоритм работы интеллектуальной системы дистанционного запуска с функцией автозапуска двс беспилотного грузового автомобиля…….. 187
Файзрахманова А.Р. Модернизация источника оперативного тока систем управления газокомпрессорной станции…….. 191
Федоров А.В. Широкополосный режим работы установки СВЧ диэлектрического нагрева на основе камеры с бегущей волной……. 194
Федосеев Д.В., Никулин А.М. Сверхпроводниковые ограничители токов короткого замыкания в электрических сетях…… 198
Черных С.О. Обзор дифференциально-фазной высокочастотной защиты, выполняемой микропроцессорными устройствами…….. 203
Шафиков А.Р. Моделирование несинусоидальных режимов в системах тягового электроснабжения с коаксиальным кабелем……. 207
Шевченко Е.В. Применение асинхронизированных генераторов……. 212
Шихов А.М. Понятие широтно–импульсной модуляции, методы и применение…… 216
Шуманский Э.К. Мультиагентная система управления установками распределённой генерации, работающих на возобновляемых источниках энергии……. 219
Щельцина Е.С. Освоение Удоканского месторождения……..……. 224
Юдина В.О. Перспективы применения СВЧ методических электротехнологических установок…… 228
Ярославцев В.О. Автоматизация защиты комплектно-трансформаторной подстанции…… 232
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА……... 237
Алимкулова С.Р. Преимущества независимой схемы присоединения индивидуального теплового пункта к тепловой сети…….. 237
Ашурмамедова К.Е. Ультразвуковая дефектоскопия…… 239
Белецких И.С., Банных А.А. Меры снижения тепловых потерь…….. 243
Бороздина К.С., Гайнутдинов М.Н. Артезианские насосы…….. 246
Власенко А.П., Савченков Д.В. Новые высокоэффективные экологически чистые технологии производства электрической и тепловой энергии на твёрдом топливе…….. 251
Гайнутдинов М.Н., Бороздина К.С. Организация ремонта запорно регулирующей арматуры……. 256
Гайнутдинов Р. Н., Таюрский Д. В. Промышленные методы защиты атмосферы……. 262
Галиев А.А. Моделирование гравитационно-динамического сепаратора для повышения эффективности разделения эмульсий ……... 268
Гусаков С.С. Инфракрасная диагностика тепловой изоляции котлоагрегата.. 270
Ермоленко А.Л., Киселев И.О. Подготовка газообразного энергоносителя для использования в котельных цехах……... 272
Ефименко Л.А., Скорый А.В. Применение турбогенераторных установок в отопительных котельных…….. 276
Ефименко Л.А. Программа Sun-MCA для оценки гелиоэнергетического потенциала…….. 278

Задорожная А.В. Визуально-измерительный контроль…….. 281
Калитина А.А. Устройство системы автоматизации теплового режима зданий и возможность энергосбережения в теплоснабжении……. 285
Калитина А.А. Автоматизация систем промышленной вентиляции…… 290
Киселев И.О., Ермоленко А.Л. Оптимизация работы насосного и тягодутьевого оборудования …….. 296
Козлова Е.О., Немцева А.В. Обеззараживание питьевой воды на промышленном предприятии ……. 302
Кордюкова Л.С. Многокритериальная оценка эффективности энергосберегающих проектов в промышленности……... 306
Куклин Е.С., Паутов А.А. Об эффективности использования газообразного технологического топлива…….. 312
Лбов А.С. Повышение устойчивости и надежности работы насосного оборудования…… 314
Лобов И.Д., Лобова М.В. Применение комплексных трубных систем при прокладке сетей теплоснабжения……... 318
Лобов И.Д., Лобова М.В. Переход от открытой системы ГВС на закрытую в 2022 году…… 320
Лучихин Н.В, Кошелева Е.В.Применение и выбор современных теплоизоляционных материалов…… 323
Махортов В.В. Пути повышения эффективности работы ТЭЦ……. 329
Медведев П.В., Слобода Е.А. Разработка технологии контактной шовной сварки оребрения калориферов…….. 332
Медведев П.В., Махортов В.В. Эффективность использования теплообменных аппаратов…….. 337
Михайлов И.А. Радиографический контроль трубопроводов ТЭС……... 340
Назмутдинова Н.М. Система очистки воздуха в зоне технического обслуживания автотранспортного предприятия……... 343
Немцева А.В., Козлова Е.О. Анализ технического состояния элементов главного паропровода с использованием метода «реплик»……. 348
Нурмухаметова А.А. Система очистки выбросов стекловаренной печи от твердых частиц при производстве стекловолокна…… 353
Павлов С.А., Андреев И.В. Использование кородревесных отходов в качестве котельного топлива…….. 356
Паутов А.А., Куклин Е.С. Сжигание комбинированного топлива……. 361
Плиско В.Ю., Савченков. Д.В. Анализ эффективности сжигания непроектных топлив в котле БКЗ-220-100 с использованием прямоточных горелок…….. 363
Погодаев М.И. Ультразвуковая дефектоскопия……. 368
Слобода Е.А., Медведев П.В. Особенности структуры металлов применяемых в современной теплотехнике…….. 371
Таюрский Д.В., Гайнутдинов Р.Н. Измерение твердости металлов ……... 373
Тукмачев Б.Н. Безопасность перевозок на железнодорожном транспорте….. 377
Хафизова А.И., Круглов Л.В. Теплоотдача от свободной поверхности струйно-пленочного элемента к потоку газа……. 380
Шадрин Д.Д. Состояние теплоэнергетики Иркутской области……. 382

Шипика Е.С., Гендлер С.Г. Энергосберегающие технологии при подогреве наружного воздуха на основе использования природных источников энергии…….. 390
УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ……. 396
Бобылев А.Ю. Параметрический синтез сар давления на выходе магистрального насосного агрегата …….. 396
Готовцев В.Ю., Игнатьев Д.И., Бойко А.В. Управление системами отопления в индивидуальных тепловых пунктах……. 401
Зуева А.С., Леонов Ю.А. Исследование DOM-модели интернет-магазина мобильных приложений windows phone store……... 405
Зуева А.С., Леонов Ю.А. Многокритериальная оптимизация задачи выбора транспортного средства……... 410
Иванов Н.Н., Купреев В.Е. Градиентные методы решения систем линейных неравенств…… 414
Игнатьев Д.И., Готовцев В.Ю., Бойко А.В. Пассивный метод идентификации многосвязной модели системы теплоснабжения по экспериментальным данным……. 421
Кушнирук А.А. Синтез модели энергосистемы по передаточным функциям режимных параметров стабилизации …… 426
Метлина Т.А., Мареев А.С. Обзор и сравнение систем технического зрения 433
Славгородская А.А. Исследование влияния схемно-режимных ситуаций в энергосистеме на выбор настроек автоматических регуляторов возбуждения 436
Тарасенко В.Д. Идентификация параметров сушильной камеры……. 440
Трухина А.В. Регрессионный анализ технологических параметров ……... 445
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ……... 450
Бурлак Д.С. Спутники связи …… 450
Виноградова К.О. Связь на борту самолётов…….. 454
Дотоль Д. Н. Преимущества квантовой сети по сравнению с волоконно-оптическими линиями связи…… 458
Егоров С.Р. Сравнительный анализ технологий CWDM и DWDM…….. 463
Казакова Е.А. Спутниковые технологии VSAT и безопасность сети…….. 469
Короткова К.Е. Криптографические методы защиты информации……. 475
Павлюк Е.Ю. Приемущества перехода от PDH к SDH технологии……. 478
Петровская А.Е. Системы кодирования в кабельном ТВ…….. 483
Пляскин Д.А. Сотовые системы телевидения …… 487
Рау Г.А. Светодиодные лампы как беспроводной интернет …….. 492
Сазикова Н.В. Методы множественного доступа…….. 495
Семин А.А. Волоконно-оптические линии связи: проектирование и прокладка……. 499

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Руководитель секции
зав. кафедрой Электроэнергетики и электротехники
канд. техн. наук, доцент Ю.Н. Булатов

А.А. Асозода, Л.И. Шмарина
Братский г*осударственный университет», г. Братск*
feia@brstu.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Защита электрооборудования от токов короткого замыкания (КЗ) до сих пор остается актуальной задачей. Механические и термические напряжения, возникающие в режиме короткого замыкания (пропорциональные квадрату тока), заставляют проектировать все компоненты энергосистемы с большими запасами. Вот поэтому эффективность и надежность работы токоограничителя крайне важны для работы всей энергосистемы. регулирования реактора. Принимаемые в настоящее время способы ограничения токов короткого замыкания заключаются либо в делении сети (автоматическим или ручным способом), либо введением в нее дополнительных реактивных сопротивлений. Недостатком этих способов является снижение управляемости и пределов устойчивости сети, увеличение потерь мощностей, снижение напряжений в нормальных режимах. Основные требования, предъявляемые к ограничителям тока КЗ:

- ограничение ударных токов КЗ в течение первого полупериода;
- ограничение установившихся токов КЗ и низкий уровень потерь в нормальных режимах работы;
- быстрый возврат к исходному режиму после ограничения аварийных токов;
- высокая надежность, сопоставимая с надежностью силовых трансформаторов;
- работа ограничителя тока не должна приводить к появлению опасных перенапряжений и препятствовать нормальному функционированию систем автоматики, защиты и высоковольтных выключателей;
- полные потери должны быть ниже, чем в трансформаторе: в диапазоне от 0,01 до 0,1% номинальной мощности защищаемой цепи.

Одним из путей решения задачи ограничения токов КЗ является применение сверхпроводниковых токоограничителей (СПТО), которые на протяжении уже нескольких десятилетий достаточно интенсивно разрабатываются в различных странах. Например, компании Toshiba и Fujikura в сотрудничестве с ISTEC (International Superconductivity Technology Center) и университетом Йокогамы разработали и успешно испытали трехфазный токоограничитель резистивного типа; компания Nexans совместно с исследовательским центром Forschungszentrum Karlsruhe (Германия) разработала и испытала токоограничители CURL 10 и CULT 110; компания American Superconductor совместно с Siemens занимается разработкой высоковольтных СПТО на напряжение 115 кВ и пользуется финансовой поддержкой министерства энергетики США. Принцип действия СПТО основан на его переходе от состояния сверхпроводимости к высокому сопротивлению при достижении критического тока. То есть в нормальных режимах СПТО практически не оказывает влияния на режим работы сети, а в аварийных вводит в сеть реактанс, необходимый для ограничения токов КЗ до требуемого уровня. Примером может служить сверхпроводящий (СП) токоограничивающий модуль Siemens (рис. 1).

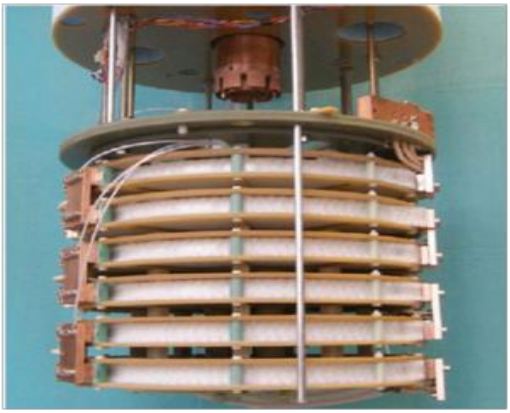


Рис. 1. СПТО модуль Siemens 425 А, 8,4 кВ.

Наиболее перспективными считаются два типа исполнения СПТО:

- резистивные (проще, компактнее и дешевле);
- индуктивные (имеют большие габариты и стоимость).

Резистивный тип токоограничителя (рис. 2), основан на нелинейности сопротивления сверхпроводника. Резистивное исполнение в свою очередь делится на два: последовательное и шунтирующее.

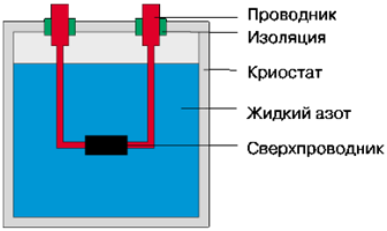


Рис. 2. Схематичная конструкция резистивного токоограничителя

В первом случае (рис. 3) сверхпроводниковый безындуктивный резистор последовательно включается в схему с защищаемой нагрузкой.

Рис. 3. Резистивный СПТО последовательного типа

В нормальном режиме сопротивление токоограничителя равно нолю, но как только при аварии ток достигает заданной величины, токоограничитель выходит из сверхпроводящего состояния и переходит в резистивное. Такое исполнение ограничителя тока требует высокой плотности тока СП провода (что тяжело выполнить с технологической и экономической точек зрения) и эффективного отвода большого количества тепла от сверхпроводника, выделяющегося в режиме КЗ, для приемлемого времени восстановления сверхпроводящего состояния после устранения аварии. Поэтому последовательный резистивный тип токоограничителя можно применить в схемах, где нескольких минут восстановления после срабатывания достаточно. В расчеты показывают, что указанное выше исполнение можно использовать и в схемах, где реализовано однократное автоматическое повторное включение (АПВ), но в этом случае потребуется намного большее количество самого СП провода, а криогенная установка увеличивает размеры токоограничителя в 8 раз, что, естественно, не совсем целесообразно.

Эффективнее применить шунтирующий тип (рис.4). Принцип токоограничения аналогичен последовательному типу, но при этом

параллельно сверхпроводнику подключается «теплый» резистор или катушка индуктивности.

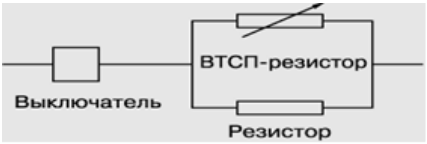


Рис. 4. Резистивный СПТО шунтирующего типа

В номинальном режиме работы сопротивление СП катушки равно нулю и ток течет через нее. В период КЗ, при достижении сопротивления сверхпроводника достаточного значения, ток переключается на параллельно соединенный элемент, который и берет на себя весь «удар». В данном исполнении токоограничитель может выдержать несколько КЗ подряд с достаточно высоким быстродействием, т.к. температура сверхпроводника не увеличивается так сильно, как при последовательном соединении. Однако при изготовлении шунтирующего токоограничителя потребуется примерно на 10% больше СП провода. Шунтирующий тип может быть применен в схемах с однократным АПВ, а после некоторых доработок СП катушки и непосредственно самих СП материалов можно будет добиться 2-кратного АПВ.

Нелинейность вольтамперной характеристики сверхпроводника также используется в токоограничителях индуктивного типа (рис. 5). Его можно представить в виде трансформатора с СП нелинейным резистором в качестве нагрузки вторичной обмотки (рис. 6). В нормальном режиме работы вторичная обмотка трансформатора замкнута на сверхпроводник – сопротивление токоограничителя близко к нолю. При возникновении КЗ резистор выходит из сверхпроводящего состояния и его сопротивление растет, в результате чего ток КЗ ограничивается индуктивным сопротивлением первичной обмотки.

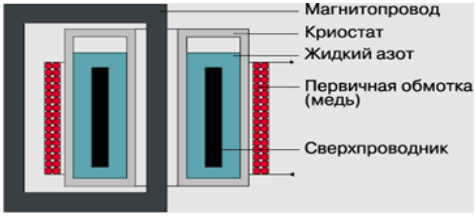


Рис. 5. Схематичная конструкция индуктивного токоограничителя

Основным недостатком индуктивного СП ограничителя тока можно назвать большие габариты устройства, а также более сложную конструкцию и высокую стоимость по сравнению с резистивными токоограничителями, что удерживает многих разработчиков от дальнейшего освоения данного исполнения.

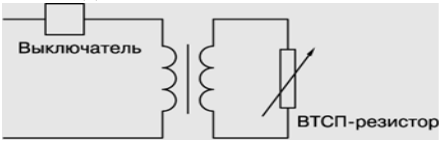


Рис. 6. Индуктивный СП токоограничитель

СП токоограничители помогут избежать повреждения оборудования, его замены на более дорогое (например, уже установленных на подстанции выключателей на другие с большим током отключения), увеличить пропускную способность, уменьшить стоимость применяемого оборудования при новом строительстве, исключить применение реакторов, повысить надежность и стабильность сети.

Повышение эффективности токоограничителей за счет использования сверхпроводников не только понизит прямые потери энергии в номинальном режиме, но и позволит существенно понизить капиталовложения в другие элементы энергосистемы.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.А. Стародубцев

Литература:

1. Бурман А.П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 336 с.

2. Токоограничители для высоковольтных электрических сетей. [Электронный ресурс]: URL:153328.selcdn.ru/links/6_2_Ивакин_Ковалев.doc

В.Ю. Авдеева
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
arya_avdeeva@mail.ru

ТРИИНГИ В ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОЯВЛЕНИЯ

В процессе старения сшитого полиэтилена его эксплуатационные характеристики ухудшаются. Основная причина этого - водные триинги - повреждения полимера, возникающие на изоляции при воздействии электрического поля и влаги, проникающей из окружающей среды.

Нами был произведен обзор литературы, который показал, что в области триингов электрическая прочность существенно снижается, что повышает напряженность на неповрежденной части изоляции и ускоряет рост триинга.[1]

При выпуске кабеля с полимерной изоляцией необходимо реализовать следующие мероприятия для снижения появления и процесса роста триингов:

- при производстве кабелей с полимерной изоляцией должна обеспечиваться максимальная чистота применяемых изоляционных и электропроводящих материалов;
- исключение попадания пыли в полиэтилен при транспортировке, загрузке и экструзии; [2]
- использование дополнительного слоя металлической ленты или применение металлической оболочки, препятствующей проникновению влаги в изоляцию;
- разработка специальных изоляционных компаундов с повышенной стойкостью, применение специальных стабилизаторов;
- введение наиболее плотной жилы и смена ленточных экранов на экструдированные;
- обеспечение наложения экранов и изоляции на токопроводящую жилу в один проход через экструдер, для чего следует использовать экструдеры сдвоенного типа (при этом уменьшается количество пустот между изоляцией и экранами); [2]
- использование беспаровой среды для сшивки полиэтилена; наименьшее количество полостей в изоляции получается при охлаждении кабеля под давлением. [2]

Несмотря на значительное развитие более надежных диэлектрических материалов, водные триинги по-прежнему остаются предметом пристального внимания крупных компаний и предприятий.

Данная заинтересованность обусловлена стремлением разработать наиболее долговечные материалы и конструкции, более достоверные и надежные методы оценки стойкости изоляционных систем к водным триингам и мониторинга ресурса.

Научный руководитель: старший преподаватель И.Д. Загустина

Литература:

1. Кожевников А.Современная кабельная изоляция. Журнал «Новости Электротехники» №2 (38) 2006 г.
2. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии. - М.: Энергоатомиздат, 1984, 368 с.

А.А. Алабужева
Забайкальский государственный университет, г. Чита,
alabuzheva_al@mail.ru

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НАСЕЛЕНИЕМ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

Жилищно-коммунальное хозяйство – один из крупнейших и неэффективных потребителей энергоресурсов. Это объясняется, в первую очередь, большим количеством мелких потребителей с невысокой организацией электропотребления и технического обслуживания электрических сетей и электроустановок [2].

В статье приводится исследование потребления электроэнергии населением муниципальных районов Забайкальского края, на основе данных АО «Читаэнергосбыт», и оценка влияния на него различных факторов. Анализ проводился за 2017 год по муниципальным районам, за исключением Краснокаменского и Тунгиро - Олекминского районов.

Реальное электропотребление (и электрическая нагрузка) муниципального района постоянно изменяется не только по значению, но и по составу потребителей. Это изменение формируется под влиянием многих факторов, начиная от количества жителей района и заканчивая климатической зоной, в которой он находится.

В данном исследовании анализировалось влияние количества населения района, степень благоустройства жилфонда, а также климатических условий на значение электропотребления. Исходные данные (годовое электропотребление районов по месяцам,

численность населения по районам на 1 января 2017 года и т.д.) определялись по данным АО «Читаэнергосбыт» [1], а также по данным Росстата [3]. Выборка включает 29 районов.

В первую очередь на потребление электроэнергии населением влияет время года. На рисунке 1 представлена динамика суточного потребления электроэнергии муниципальными районами по сезонам года, который рассчитывался как отношение суммы потребленный электроэнергии за месяц по всем районам на количество дней в данном месяце.

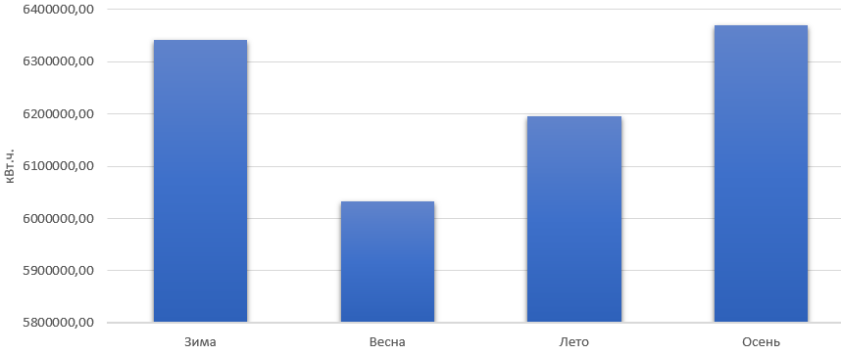


Рис.1 Среднесуточное потребление населением Забайкальского края по сезонам

На данном рисунке видно, что в теплое время года потребление значительно меньше, чем в холодное. При этом потребление в летние месяца почти в 2 раза выше, чем в весенние. Это связано с тем, что климат Забайкальского края резко-континентальный. Зима длительная и суровая, лето короткое и жаркое. В связи с этим потребление в летнее время года возрастает с повышением электропотребления на охлаждение в дневное время суток.

При анализе электропотребления по районам для каждого района было рассчитано значения среднемесячного удельного электропотребления за год на одного жителя. Результаты расчета приведены на рисунке 2.

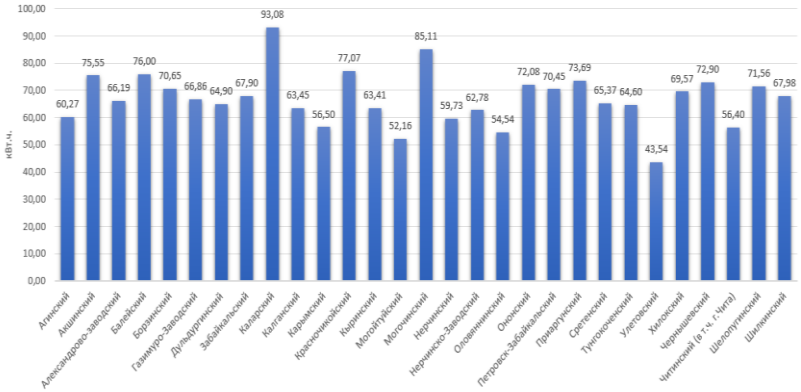


Рис. 2 Среднемесячное удельное потребление на одного жителя

Согласно исследованию Московского центра энергоэффективности, в среднем каждый житель России тратит примерно 60 кВт.часа в месяц. Экономный житель укладывается в 30 кВт.час в месяц, а расточительному надо 90 кВт.часа в месяц. Среднемесячное удельное потребление в Забайкальском крае колеблется от 43,54 кВт.ч. (Улетовский р-н) до 93,08 кВт.ч. (Каларский р-н).

Для того, чтобы определить степень влияния благоустройства многоквартирных и частных домов на объем электропотребления были рассчитаны процент оснащенности горячим водоснабжением и процент оснащенности централизованным отоплением многоквартирных и частных домов по районам. В целом по выборке районов 27,85% многоквартирных и 0,59% частных домов оснащены горячим водоснабжением, 47,5% многоквартирных и 15,06% частных домов оснащены централизованным отоплением.

Наименьшее среднемесячное удельное потребление на одного жителя пришлось на Улетовский район. В данном районе высокий процент оснащенности многоквартирных домов горячим водоснабжение и централизованным отоплением (80,22% МКД оснащены ГВС, 91,21% МКД оснащены ЦО). Данный район занимает 3 место по проценту оснащенности ГВС по многоквартирным и жилым домам.

Наибольшее среднемесячное удельное потребление на одного жителя отметилось в Каларском районе. Процент оснащения ГВС в многоквартирных домах - 21,69%, что выше среднего, в частных домах оснащённость ГВС в данном районе самая высокая 5,28%. Процент

оснащения ЦО в многоквартирных домах – 44,49%, в частных – 20,7%, что так же выше среднего. Очевидно, что степень благоустройства жилфонда оказала малую степень влияния на среднемесячное удельное электропотребление. Высокий показатель обусловлен территориальным расположением района. В Каларском районе, в котором находится самая северная точка Забайкальского края, отмечена самая низкая температура в Забайкальском крае.

Тем не менее, в тройку наибольший показателей среднемесячного удельного потребления электроэнергии попал и южный район Забайкальского края – Красночикойский. Жилфонд данного района не оснащен горячим водоснабжением, а также процент оснащения жилых домов централизованным отоплением значительно ниже среднего, всего 2,39%.

На основе данного анализа можно сделать вывод, что на показатель потребления электроэнергии муниципальными районами Забайкальского края в значительной степени влияют климатические условия. А также, несомненно, влияет и степень благоустройства жилфонда. Очень маленькая часть домов оснащена горячим водоснабжением, что влечет за собой увеличение электропотребления на подогрев воды. В целом среднемесячное удельное потребление электроэнергии в большинстве районов Забайкальского края выше среднего (> 60 кВт.ч.).

Основные усилия по энергосбережению необходимо сконцентрировать именно в сфере потребления электроэнергии. На обогрев зданий в зимний и охлаждение в летние периоды расходуется большое количество тепловой и электрической энергии. Применение комплекса грамотных решений на этапах проектирования, строительства и капитального ремонта позволяет многократно снизить общее потребление энергии в процессе дальнейшей многолетней эксплуатации жилых и нежилых зданий [4]. Внедрение энергосберегающих технологий как на бытовом уровне так же является одним из важных шагов в решении данной проблемы.

Научный руководитель: к.э.н., доцент В.С. Кузнецов.

Литература:

1. АО «Читаэнергосбыт» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.e-sbyt.ru (дата обращения 01.03.2018)

2. Ефременко В. М., Шеварухин А.С., Анализ потребления электроэнергии в жилых помещениях многоквартирных домов //

Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2012. Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-potrebleniya-elektroenergii-v-zhilyh-pomescheniyah-mnogokvartirnyh-domov (дата обращения 10.03.2018)

3. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce (дата обращения 01.03.2018)

4. Энергосбережение // Википедия. Свободная энциклопедия Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергосбережение (дата обращения 20.03.2018)

К.В. Бастрыкин
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул
kiryamobile@mail.ru

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАТУШКИ С МАЛОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Катушка индуктивности является одним из важнейших элементов в электрических схемах. В общем случае ее можно представить, как винтовую либо спиральную катушку из изолированного проводника с вставленным в нее ферромагнитным сердечником или без него, имеющую большую индуктивность при малой емкости и активном сопротивлении. Действие катушки индуктивности заключается в том, что она может создавать вокруг себя магнитное поле при протекании по ее обмотке электрического тока.

Катушки индуктивности имеют довольно широкое применение в электротехнике, радиотехнике, электронике и других областях, где активно используется свойство катушки индуктивности - создавать вокруг себя магнитное поле. Катушки индуктивности можно применять в качестве электромагнитов, фильтров, источников э.д.с., трансформаторов, либо использовать её просто как элемент колебательного контура [1].

Кроме положительных свойств катушка индуктивности имеет и свои недостатки. В системах с переменным током при протекании последних возникает самоиндукция, которая является причиной

возникновения реактивных токов, т.е. возникновения реактивной мощности, появление которой, несомненно, считается недостатком для любой энергосистемы. Действие самоиндукции, как известно, можно скомпенсировать с помощью ёмкости соответствующей величины, включенной в цепь. На практике это достигается с помощью внесения в цепь конденсаторов, которые дорого стоят, неудобны при эксплуатации, требуют поддержания их в работоспособном состоянии, и за счет этого не гарантируют необходимый уровень надежности.

Все эти недостатки можно решить если вместо конденсаторов использовать катушки с малой индуктивностью, которые за счет своей намотки сами являются источником ёмкости. Для этого необходимо намотать катушку таким образом, чтобы разность потенциалов между разными витками была существенной, так как емкость будет увеличиваться пропорционально квадрату разности потенциалов между витками [2]. Преимуществом такой емкости является простота ее получения и эффективность вследствие того, что для получения необходимого значения емкости необходимо лишь изменить форму и размер катушки индуктивности. Кроме того, энергия, запасенная в катушке в целом при уменьшении реактивной мощности, не уменьшится, потому что при снижении самоиндукции катушки мы увеличиваем собственную емкость катушки, а энергия как мы знаем изменяется пропорционально квадрату разности потенциалов и емкости катушки.

Способ намотки катушки существенно влияет на свойства катушки, но также важную роль имеет и форма каркаса катушки. Для увеличения собственной емкости катушки необходимо помимо наличия каркаса, который увеличивает емкость по сравнению с расчетной на 15-30%, также его специальная конструкция, позволяющая еще больше увеличить собственную емкость. Каркас с канавками, прорезями или секциями под провод способен увеличить емкость до 40%, а пропитка провода лаком или клеем добавить к собственной емкости еще 10%. В итоге с помощью конструкцию каркаса и пропитки провода мы можем увеличить собственную емкость катушки до 50% [3]. Таким образом можно сделать вывод, что для этих целей мы можем использовать любую катушку удовлетворяющей конструкции (с прорезями, канавками или секциями под провод) пропитанную лаком или клеем. К таким катушкам к примеру, можно отнести секционированную или корзиночную катушку индуктивности. Конструкция этих катушек представлена на рисунке 1.

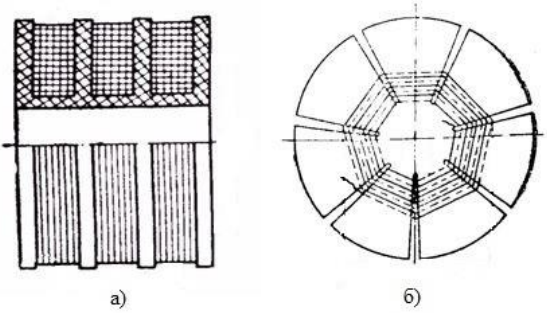
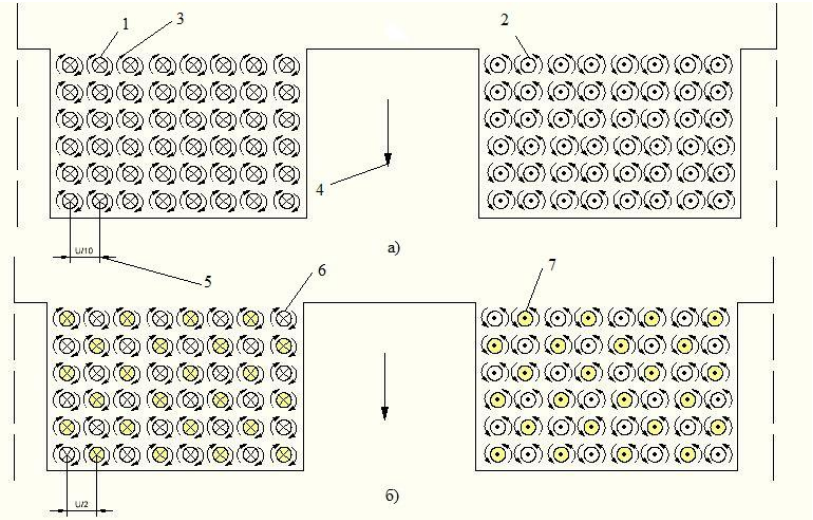


Рис.1 Катушки с большой собственной емкостью:
а) секционированная катушка индуктивности; б) корзиночная катушка индуктивности

Для того чтобы разность потенциалов между витками была существенна и энергия, запасенная в катушке, не уменьшилась при уменьшении реактивной мощности необходимо расположить провода таким образом, чтобы у катушки в отдельных витках создавались однонаправленные магнитные поля, которые впоследствии суммировались и создавали бы внешнее суммарное магнитное поле. Намотка таких катушек может осуществляться как бифилярной парой проводов, так и послойно одинарным проводом, с соответствующим встречным включением слоев [4].

Для сравнения на рисунке 2, а представлена катушка с обычной намоткой одним проводом. Как мы видим разность потенциалов между соседними витками обратно пропорциональна количеству витков в катушке, и для данного случая составляет U/10. На рисунке 2, б представлена катушка в разрезе, имеющей обмотку с однонаправленными магнитными полями в смежных витках намотанную бифилярной парой проводов (намотка осуществляется двумя проводами одновременно). За счет того, что бифилярные проводники наматываются вместе, то разность потенциалов между соседними витками не будет зависеть от количества витков и будет составлять U/2.



1 – сечение проводника с током, направленным от наблюдателя; 2 – сечение проводника с током, направленным к наблюдателю; 3 – направление вращения магнитного поля вокруг проводника с током; 4 – направление магнитного поля в сердечнике; 5 – разность потенциалов между соседними витками; 6 – первый провод бифилярной пары; 7 – второй провод бифилярной пары

Рис.2 Катушки с однонаправленными магнитными полями витках:
а) обычная намотка; б) намотка бифилярной парой проводов

Проведя сравнение обычной намотки и намотки бифилярной парой проводов, можно заметить, что применение катушек с бифилярной намоткой позволяет существенно увеличить разность потенциалов между соседними витками по сравнению с обычной намоткой (эффект будет наибольшим при большом количестве слоев катушки). Межвитковая емкость зависит от квадрата разности потенциалов между витками. Соответственно такой способ намотки позволяет повысить собственную емкость катушки, которая будет распределяться равномерно по катушке и будет способствовать уменьшению реактивной мощности катушки, при том что энергия, запасенная в катушке в целом при уменьшении реактивной мощности, не уменьшится, потому что при снижении самоиндукции катушки мы увеличиваем собственную емкость катушки, а энергия как мы знаем

изменяется пропорционально квадрату разности потенциалов и емкости катушки.

В заключении можно сделать вывод, что конструкция катушек с большой собственной емкостью и однонаправленными магнитными полями в смежных витках намотанных бифилярной парой проводов обладает рядом преимуществ. Она обладает большой собственной ёмкость и малой реактивной мощностью, без уменьшения полной энергии, запасенной в катушке. Такие катушки могут быть использованы для уменьшения самоиндукции и взаимной индукции между обмотками трансформаторов, между обмотками статора и ротора электрических двигателей и генераторов.

Научный руководитель: к.п.н., доцент И.В. Белицын

Литература:

1. Где применятся катушка с проводом (индуктивность) [Электронный ресурс]. – URL: http://domasniyelektromaster.ru/nemnogo-teorii/gde-primenyayutsya-katushki-induktivnosti/
2. Бифилярные катушки [Электронный ресурс]. – URL: http://zaryad.com/wp-content/uploads/2012/09/Bifilyarnyie-katushki-vvedenie.pdf
3. Теория индуктивностей [Электронный ресурс]. – URL: http://www.comsoft.ru/index.php?_t8=27
4. Катушка: пат. 2355060 Рос. Федерация : МПК H01F5/00 : В.П. Янчук – заявл. 28.03.2007 ; опубл. 10.05.2009 – 2 с.

Д.Е. Бахмисов, А.С. Угодин, А.А. Смолярская, Н.А. Краева
Братский государственный университет, г. Братск
fr-air@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА В РОССИИ

Основным преимуществом высоковольтных ЛЭП постоянного тока является возможность передавать большие объёмы электроэнергии на большие расстояния с меньшими потерями, чем по ЛЭП переменного тока. К настоящему времени в мире действует около 100 объектов постоянного тока общей мощностью около 75 ГВт. За рубежом электропередача постоянного тока широко распространена.

Например, воздушная линия постоянного тока (ВЛПТ) «Канада—США» протяженностью 1486 км, ±400 кВ, 2000 МВт; подводная кабельная линия постоянного тока «Великобритания — Норвегия» протяженностью 724 км с пропускной способностью 800 МВт и др. Кроме того, острова Хоккайдо и Хонсю связывает комбинированная воздушно-кабельная линия постоянного тока ±250 кВ (600МВт) [1].

В свое время СССР длительно лидировал в технике передачи электрической энергии на дальние расстояния. В 1962–65 гг. была введена в эксплуатацию первая в мире ВЛПТ «Волгоград – Донбасс» ±400 кВ, мощностью 720 МВт, длиной линии 470 км; построена линия ВЛПТ «Экибастуз-Центр» ±750 кВ (без ввода в эксплуатацию) [2].

В настоящее время действующих ВЛПТ в России практически не осталось. После распада Советского Союза прекратили существовать заводы по изготовлению опор ВЛПТ, а также предприятия, выпускающие преобразователи для подстанций постоянного тока.

Анализ существующей обстановки показал, что причина, по которой в России не используют ВЛ постоянного тока, состоит в сложности восстановления промышленной базы. В СССР энергетика имела колоссальные темпы развития. ВЛПТ сооружали там, где была необходимость передавать энергию на большие расстояния. Кроме того, практиковался опыт применения вставок постоянного тока (ВПТ).

Преимущества применения передач постоянного тока и ВПТ определяются их техническими характеристиками:

- с помощью ВЛПТ (ВПТ) осуществляется несинхронная связь между энергосистемами, обеспечивающая возможность независимого регулирования частоты в каждой из них. Нарушения режима (КЗ, сбросы мощности, набросы нагрузки) в одной из объединенных энергосистем практически не сказываются на работе другой;

- через ВЛПТ (ВПТ) могут объединяться энергосистемы, работающие с различной номинальной частотой (50 и 60 Гц) или разной идеологией поддержания частоты;

- быстродействующее регулирование преобразователей ПТ и ВПТ позволяет практически безынерционно изменять величину и направление потока мощности, благодаря чему такая связь свободна от нерегулируемых перетоков мощности и способна осуществлять передачу электроэнергии по заданной программе;

- законы регулирования могут быть выбраны с большой степенью независимости от изменений режима (уровней напряжения, частоты) в связываемых энергосистемах. При необходимости специальные регуляторы могут использоваться, например, для поддержания

частоты, демпфирования субгармонических колебаний, повышения устойчивости параллельных ВЛ переменного тока и т.д.;

- объединение энергосистем переменного тока или ввод дополнительной мощности в энергосистему через ВЛПТ (ВПТ) не приводит к увеличению токов КЗ;

- для длинных ВЛ (наиболее протяженная из построенных ВЛПТ имеет длину 1730 км) нет ограничений передаваемой мощности по условиям нарушения устойчивости. Технические пределы нагрузки для воздушных и кабельных линий постоянного тока определяются только условиями теплового режима;

- по сравнению с ЛЭП переменного тока линии постоянного тока имеют в 1,5 раза меньшую зону отчуждения земли для трассы линии.

На основании анализа многочисленных публикаций высоковольтная ЛЭП постоянного тока может передавать бóльшую мощность по проводнику, так как для данной номинальной мощности постоянное напряжение в ВЛПТ ниже, чем амплитудное напряжение в линии переменного тока. Мощность переменного тока определяет действующее значение напряжения, но оно составляет только приблизительно 71% максимального амплитудного напряжения, которое и определяет фактическую толщину изоляции и расстояние между проводниками. Поскольку у ВЛПТ действующее значение напряжения равно амплитудному, становится возможным передавать на 41% больше мощности по существующей линии электропередачи с проводниками и изоляцией того же размера, что на переменном токе, это в свою очередь приводит к снижению затрат [3].

Рассматривая вышеизложенную информацию можно выделить объективные предпосылки восстановления передачи ПТ в России:

- большая протяженность территории страны;

- неравномерное распределение энергоресурсов и промышленности (наибольшие запасы минерального топлива и гидроресурсов – в Сибири, наибольшее сосредоточение населения и промышленности – в европейской части);

- большое число удаленных от центров потребления перспективных створов для сооружения ГЭС [4].

В настоящее время в параллельную работу ВПТ «Россия – Финляндия», работающей на энергосистему Финляндии, подключается первый блок Северо-Западной ТЭЦ (С.-Петербург) мощностью 450 МВт. Объем поставляемой электроэнергии в Финляндию в последние годы значительно увеличился и превысил 10 млрд кВт*ч в год [5].

Подводя итоги проведенного анализа публикаций, можно сделать заключение, что электропередача постоянного тока может

рассматриваться как хорошо отработанный элемент энергосистемы, обладающий, несмотря на значительную технологическую сложность основных составляющих, очень высокими техническими характеристиками. Однако реализацию подобных проектов в России сдерживают следующие факторы:

- ряд ведущих НИИ и предприятий, направленных на передачи постоянного тока, после распада СССР оказались за границей;
- утрачены технологии производства и испытательные базы;
- при избытке генерирующих мощностей мало уделяется внимания мероприятиям по снижению потерь в электрических сетях;
- отсутствие мощной корпорации, заинтересованной в развитии передач постоянного тока и способной самостоятельно реализовать производство всего комплекса электрооборудования и строительство ВЛПТ и ВПТ.

Развитие линий и ВПТ в России возможно только после устранения этих неблагоприятных факторов.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.Н. Яковкина

Литература:

1. Лозинова Н.Г., Мазуров М.И. Передача постоянного тока. Перспективы применения // Новости электротехники.- 2017. - №4 (46)

2. Ряд напряжений высоковольтных сетей в мире. – URL: http://forca.ru/spravka/spravka/ryady-napryazheniy-vysokovoltnyh-setey-v-mire.html

3. Передачи и вставки постоянного тока высокого напряжения / Под ред. В.В. Худякова. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

4. Зеленохат Н.И., Шаров Ю.В. Комбинированное объединение больших энергосистем // Электричество. – 2006. – № 5.

5. Балыбердин Л.Л. и др. Увеличение мощности электропередачи 330/400 кВ с вставкой постоянного тока между энергосистемами России и Финляндии // Электрические станции. – 2004. – № 10.

С.В. Вовк
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЗРАЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Как известно, классические солнечные панели темного оттенка синего, либо почти черного цвета. Из-за этого они зачастую очень сильно выделяются на фоне здания, внося ощутимый диссонанс в его архитектурный стиль. Кроме того, цветовые особенности приходится учитывать и проектировщикам при разработке современных энергоэффективных зданий и малых архитектурных форм. Решение этой проблемы было найдено не так давно: разработаны прозрачные солнечные батареи для фасадов и систем остекления. Сфера применения прозрачных панелей весьма обширна: остекление фасадов; возведение зимних садов; строительство теплиц и животноводческих комплексов; остекление павильонов; создание стеклянных крыш и внутренних двориков (атриумов); остекление мансард и пентхаусов; создание разного рода солнцезащитных систем (над зонами отдыха, бассейнами и т.д.).

Главная особенность таких панелей заключается в использовании невидимого спектра солнечных лучей. При этом поглощение и «переработка» инфракрасного излучения имеют еще одно преимущество – минимизация теплового воздействия. Дело в том, что перегрев фотопанелей, из-за которого они нуждаются в дополнительном охлаждении, вызывает именно инфракрасный спектр. Прозрачные же модели поглощают инфракрасные лучи, и они не разогревают сами панели. Это означает, что появляется возможность отказаться от систем охлаждения и снизить общие расходы на установку гелиополя.

В настоящее время выпускаются прозрачные панели двух типов: на стеклянных основаниях и на гибких подложках. Гибкие варианты напоминают тонировочную пленку и предназначены для наклеивания на прозрачные конструкции (окна, панели остекления фасадов и т.д.). Их светопропускная способность достигает 70% (рис.1), что фактически не сказывается на уровне освещенности помещения. Создаются они из гибкого композитного материала, схожего с пластиком. Использование современных разработок позволяет минимизировать затраты на производство подобных пленок и сделать их изготовление экономически выгодным. Второй вариант прозрачных панелей – нанесение двухслойной пленки на основание из закаленного стекла. Для возведения фасадов

применяются именно такие панели. На закаленную стеклянную подложку (нередко – триплекс) наносится тонкая пленка аморфного кремния последнего поколения. Сверху на нее напыляется прозрачная микропленка кремния. Аморфный кремний преобразует видимый спектр, а микропленка – инфракрасные лучи.

Причем, благодаря использованию особых красящих веществ, удалось придать прозрачным фасадным панелям практически любой оттенок. Это означает, что с помощью таких батарей можно создавать любые фасадные композиции. Кроме того, разработчики активно используют в прозрачных панелях органические красители, обладающие фотоэлектрическими свойствами. Такая технология позволяет повысить КПД изделия, одновременно придав ему нужный цвет. Органический краситель дополняется нанокомпонентами, помещается между двумя стеклянными подложками, а стыки заполняются стеклянным порошком. Затем полученный «сэндвич» запекается при температурах порядка 600°С. В итоге получается бескремниевая фотопанель с КПД около 4%. Правда, стоимость подобных изделий пока что превышает экономическую выгоду от их массового производства.

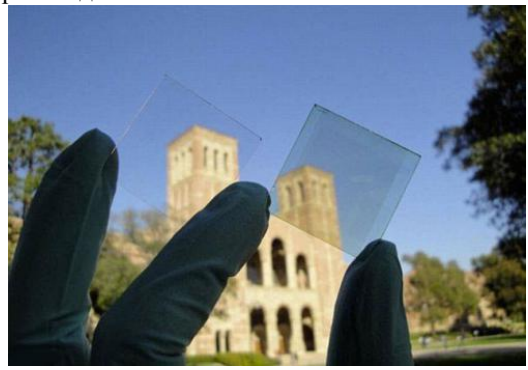


Рис. 1. Пример прозрачной солнечной батареи

Несмотря на массу достоинств, прозрачные фасадные панели имеют и некоторые недостатки, которые пока что мешают их повсеместному распространению. Главный же ограничитель заключается в низкой производительности. КПД подобных изделий пока лишь немногим более 1%. Однако ведутся активные работы по улучшению энерговыработки и планируется в ближайшем будущем довести КПД до 5%. Этого будет достаточно для начала промышленного производства и внедрения прозрачных фасадных панелей. Малая производительность будет окупаться легкостью

монтажа и отсутствием необходимости поиска дополнительного места установки. В конечном итоге затраты на монтаж таких панелей будут не больше расходов на размещение обычных кремниевых фотопанелей. Значительная же площадь стеклянных конструкций (которые в своем обычном виде, по сути, не приносят никакой практической пользы) позволит им вырабатывать вполне ощутимое количество электроэнергии. Так же стоит отметить что идея использовать прозрачные солнечные панели (при увеличении КПД) в качестве экранов планшетов, смартфонов и ноутбуков не кажется перспективной, т.к. 90% времени они находятся в удалении от солнечного света (в чехле, кармане, сумке или просто в закрытом состоянии).

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.А. Стародубцев

Литература:

1. Бурман А.П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 336 с.

2. Прозрачные солнечные батареи. [Электронный ресурс]. – URL: http://solarb.ru/osobennosti-prozrachnykh-solnechnykh-batarei

С.В. Вовк
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Важнейшим способом повышения надежности энергосистем является уменьшение числа повреждений воздушных линий электропередач (ЛЭП). Это могут быть как порывы на линии электропередач, так и выход из строя опорных конструкций. Одним из способов улучшения конструкции последних является применение опор из композитных материалов. В последние годы наметилась тенденция замены железобетонных стоек на более эффективные аналоги, особенно на труднодоступных участках линий и на

участках, проходящих в сложных климатических условиях. Прежде всего это горные районы и болотистая местность Севера и Сибири. Поэтому проявляется интерес к новым типам опор: стальным многогранным, стальным из гнутого профиля и композитным. В данной статье свое внимание мы будем акцентировать на опорах из композитных материалов.

Композит – материал, полученный из стеклоткани, стекловаты и полиэфирных смол с использованием углеродного волокна. Он начинает активно применяется при производстве опор линий электропередач, в т.ч. наружного освещения (рис.1). Опоры из композитных материалов обладают следующими свойствами:

Достоинства - устойчивость к химическим реагентам и коррозии; устойчивость к вандализму (композит не представляет интереса для скупщиков металлолома); безопасность (композитные опоры не проводят ток и им не требуется заземление для предотвращения поражения электрическим током людей); опоры не причиняют особого вреда автомобилю, и пассажирам, находящимся внутри него, в случае столкновения; легкий вес (опора высотой десять метров весит чуть больше сорока килограммов и это положительно сказывается на монтаже/демонтаже, транспортировке); долговечность (опоры из композитных материалов могут использоваться более 30 лет, но по некоторым данным этот показатель может быть больше в два, а то и три раза; низкие затраты на эксплуатацию (опоры не требуют периодической обработки спецсоставами); экологичность (все компоненты в составе являются безопасными для экологической обстановки и окружающих); высокая упругость (стойки композитные гибкие, они легко переносят сильные порывы ветра и обледенение, им не страшна остаточная деформация).

Рис. 1. Опора из композитных материалов

Недостатки – прочность (опоры хоть и соответствуют нормативам прочности, но они уступают по этому показателю опорам других типов, т.к. внутри их конструкция является полой); высокая стоимость (вместо одной композитной опоры можно установить 2-3 деревянных или металлических, но если учесть срок службы композитных стоек, минимальные затраты на их обслуживание, монтаж и замену, то их использование становится более выгодным); горючесть (если опоры не обработать спецсоставами в несколько слоев, они поддерживают распространение огня).

Сравнение эксплуатационных свойств опор из различных материалов приведено в таблице 1.

Таблица 1

Показатель	Композитные	Стальные оцинкованные	Железобетон-ные	Деревянные
Масса (с траверсой)	200-300 кг	500-700 кг	1100-1500 кг	300-400 кг
Стойкость к коррозии	очень высокая в любых условия	средняя, низкая в агрессивных условиях	средняя	гниют и рассыхаются
Стойкость к циклам замораживания и оттаивания	стойкие	стойкие	низкая	средняя
Стойкость к нерасчетным нагрузкам (ветер, гололед, удары)	упруго деформируются (обратимо), сохраняют устойчивость	сохраняют устойчивость, возможны пластические деформации	разрушается бетон, опора изгибается и падает	переламываются
Возможность ручной транспортировки и монтажа	имеется (масса секции не более 120 кг)	отсутствует	отсутствует	имеется
Техника и оборудование, необходимые для монтажа	ямобур, мотовездеход, возможен монтаж только ручным инструментом	ямобур, трактор, автокран, автовышка. В условиях бездорожья – тяжелый бульдозер		ямобур, трактор плотницкий инструмент, бензопила
Электробезопасность	очень высокая, не требует заземления	низкая, обязательно наличие заземления, при пробое изоляторов может возникнуть шаговое напряжение		высокая, заземления не требуются
Возможность работы линии при поврежденных изоляторах	может нормально работать длительное время	из-за короткого замыкания на землю не может продолжать работу		может удовлетворительно работать

Рекордно низкий вес и более высокая прочность в сравнении с железобетонными и деревянными стойками на фоне удорожания транспортных расходов, пониженная жесткость, обеспечивающая безопасное распределение возникающих локальных перегрузок и снижение вероятности обрыва проводов, выступают дополнительными конкурентными преимуществами.

Основными заказчиками композитных опор для ВЛ 6/10 кВ являются электросетевые компании, энергосервисные организации нефтегазовых компаний, операторы сотовой связи. Они предъявляют следующие специфические требования:

- возможность транспортировки не менее 10 опор одновременно вертолетом в грузовой кабине;
- возможность массовой транспортировки легким вездеходным транспортом;
- возможность ручной транспортировки секций опоры в местах, недоступных для техники;
- возможность сборки в полевых условиях с помощью простейших средств;
- возможность монтажа в пробуренный котлован без использования спецтехники;
- стойкость опор и всей линии к экстремальным климатическим нагрузкам;
- возможность продолжения работы линии без отключения при нарушениях изоляции;
- снижение опасности ВЛ для окружающей среды, вызванной блуждающими токами и исключение случаев гибели птиц на ВЛ.

Поэтому с завода опоры поставляются упакованными по схеме «матрешка»: секция меньшего размера помещается внутрь секции большего размера. Элементы траверсы, изоляторы и арматура (при комплектной поставке) также помещаются внутрь секций стойки. Таким образом, размер опоры в транспортной упаковке не превышает размера нижней секции стойки.

На данный момент в промышленности используются две технологии производства композитных опор: пултрузия и филаментная намотка. Пултрузия заключается в следующем: готовые стекловолокна пропитывают специальным связующим веществом и полученному изделию придают необходимую форму. Затем протягивают изделие через фильеры (специальные, высокопрочные формы, через которые продавливают различные пластические вещества) и нарезают его на части определенной длины.

Филаментная обработка состоит из следующих этапов: заготовленное сырье (волокна) соединяют с помощью матричной подложки и наматывают их на вращательно-симметричный сердечник. Затем охлаждают и используют заготовки по назначению.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области композитных опоры воздушных линий осуществляются как государственными учреждениями (в частности Московским государственным техническим университетом имени Н. Э. Баумана, Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого), так и коммерческими организациями. в частности ЗАО НППФ «Алтик», ООО «Гален», ООО «ЭнергоОпора» и др. Изучение композитных опор, их свойств, особенностей монтажа и эксплуатации происходит на опытных участках различных климатических зон Якутии, Тюменской области, Краснодарского края, Архангельской области, Приморского края, Татарстана, Иркутской области, на которых установлены пробные образцы.

Несмотря на большое количество плюсов инновационного продукта, присутствует одно, но крайне важное затруднение. Дело в том, что создание специализированных заводов, ориентированных лишь на выпуск композитных опор воздушных линий пока экономически не целесообразно. Однако выпуск продукции на существующих мощностях по производству стеклопластиковых труб вполне рентабелен, но возникает другая проблема: если производитель работал в одном сегменте рынка (производство труб), то ему тяжело завоевывать имя на новом для него рынке продавая инновационный продукт. Возможно решение проблемы в строительстве специальных, инновационных линий электропередач, которые способны показывать на практике, насколько композитные опоры опережают своих морально устаревших предшественников. Несмотря на явные преимущества композитных опор, распространение их по территории России не приобрело широких масштабов, организации-производители до настоящего времени испытывают сложности с продвижением продукции. Конечно, нынешние наработки и готовность некоторых производств к выпуску опор до 10 метров, не совсем конкурентоспособно, но при государственном соучастии в разработке опор большего размера для высоковольтных линий электропередач, будут неоспоримо дешевле своих технологически сложных металлических собратьев.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.А. Стародубцев

Литература:

1. Бурман А.П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 336 с.
2. Композитные опоры воздушных линий электропередач. [Электронный ресурс]. – URL:http://www.altik.su/pylons.

Т.Е. Гаранина
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
garaninatatyana221@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ТАРИФА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Цены на тепло и электроэнергию являются одним из важнейших показателей состояния энергетики. Вопросы тарификации и ценообразования обсуждаются не только в России, но и во всех странах мира. Цена должна находиться на оптимальном уровне, который устроит и потребителей и производителей тепло- и электроэнергии. Однако из года в год цены продолжают расти, поэтому специалистам необходимо искать пути их снижения и оптимизации тарифов на тепло- и электроэнергию, так как затраты на электроэнергию составляют значительную часть всех расходов у конечных потребителей ЭЭ, в том числе и населения [1].

Ежегодно Федеральная служба по тарифам России устанавливает предельные уровни тарифов - минимум и максимум. Энергетики передают расчеты своих расходов в Региональную энергетическую комиссию (РЭК). Специалисты комиссии оценивают их целесообразность и устанавливают тариф, то есть цену на электроэнергию. Производители электроэнергии (ГЭС, ГРЭС, ТЭЦ и т.д.) продают энергию, которую они вырабатывают, на так называемом оптовом рынке. Половина электроэнергии продается по фиксированным государством ценам, а половина - по рыночным. Они-то и влияют на рост цены электроэнергии, а в конечном итоге - и тарифа.

На данный момент тариф на электроэнергию состоит из нескольких частей:

1.Закупка электроэнергии у производителей и оплата её доставки по линиям высокого напряжения

2.Транспортировка электричества электросетевыми компаниями

3.Затраты сбытовых компаний

При обосновании тарифа на электроэнергию необходимо учитывать множество факторов, главными из которых являются:

1.Формирование тарифов с долгосрочной перспективой с целью их дальнейшего прогнозирования

2.При формировании тарифа должны учитываться потребности на модернизацию электросетевого комплекса [2].

Главное, что сейчас возможно сделать в процессе оптимизации тарифа с целью снижения цен на ЭЭ: это снизить затраты на производство и передачу электроэнергии за счёт строительства новых мощностей, автоматизации процессов передачи электроэнергии и управления производством, модернизации технического оборудования. Обновление оборудования, конечно, потребует дополнительных капиталовложений, но это позволит значительно сократить потери электроэнергии, что в будущем позволит значительно экономить и позволит снизить затраты на производство и передачу, а значит и тарифы на электроэнергию. И, конечно, для эффективной работы специалистам необходимо разработать долгосрочную стратегию развития всей энергетической отрасли [3].

Научный руководитель: старший преподаватель И.Д. Загустина

Литература:

1. Сафонова К.И. Методические аспекты долгосрочного тарифного регулирования в сфере электроэнергетики и теплоснабжения // Региональная экономика: теория и практика, 2012 г.

2. Перова М.Б., Мегляхин А.И. Механизм формирования тарифов на электроэнергию, дифференцированных по срокам платежа // Журнал «Региональная экономика: теория и практика» статья, 2012г.

3. Мангилева Т.В. О способе расчёта тарифа на электроэнергию для населения // Мир экономики и управления, 2013 г.

Д.С. Дитятев
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул
dditiatiev@mail.ru

КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Важнейшей задачей энергетики является обеспечение бесперебойной работы оборудования на станциях, подстанциях. Одним из важнейших объектов энергетической системы можно считать силовой трансформатор. Он преобразует электрическую энергию и сокращает ее потери при передаче от источника к потребителю. Необходимо проводить контроль состояния трансформатора, предотвращая возникновение аварии или отказа, не допуская недоотпуск электроэнергии, снизить время и расходы на ремонт, ведь он, помимо технической ценности, еще и самый дорогой из оборудования на подстанциях. Дефектов, возникающих в трансформаторе, очень много. Потому на сегодняшний день имеется солидное число методов защиты и контроля. По имеющейся статистике, основной причиной выхода из строя являются повреждения (РПН/ПБВ) и дефекты изоляции (рисунок 1).

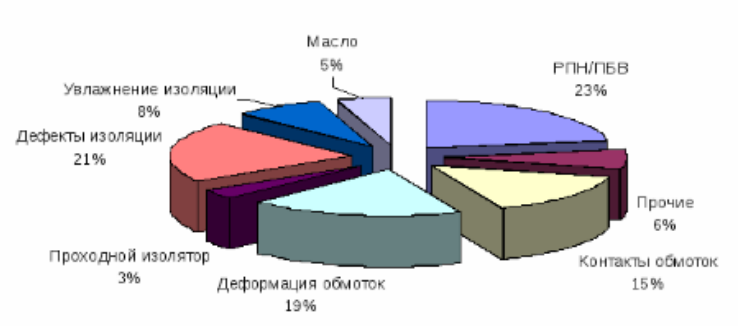


Рис. 1 Виды дефектов в силовом трансформаторе

Опаснее считаются дефекты изоляции, поскольку вовремя обнаружить ее повреждения крайне сложно. Дефекты в изоляции могут привести к возникновению опасного процесса – частичным разрядам (далее – ЧР). На основе данных [1-2], выделяют четыре основных дефекта наблюдаемых в изоляции трансформаторов, провоцирующих развитие ЧР: ползущий разряд, пробой масляного

канала, разряд в масляном клине, скользящий разряд твердой изоляции.

В настоящее время контроль состояния изоляции проводится с помощью периодических испытаний, требующих отключения трансформатора от сети. Один из них является анализ состава масла. Еще одним способом является измерение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции мостом Шеринга. Измеряют значения $tg\delta$ изоляции с помощью мостов переменного тока, собранных по нормальной или перевернутой схеме. Для неповрежденной изоляции $tg\delta$ не меняется с повышением испытательного напряжения. Увеличение $tg\delta$ с ростом напряжения означает появление в изоляции интенсивных ЧР.

Однако, несмотря на действенность методов, один только периодический контроль за изоляцией оказывается неэффективным. Из практики известно, что пробой изоляции вследствие ЧР зачастую происходит внезапно, в период между проверками изоляции. Потому можно предположить, что эффективным способом контроля изоляции служит измерение ЧР в режиме постоянного мониторинга.

Есть несколько основных сигналов, по которым можно отследить ЧР. Это звук, электрический ток, электромагнитные волны. На их основе имеется три различных метода выявления ЧР в изоляции: электрический, акустический, электромагнитный.

В общем случае состав устройства для измерения ЧР следующий: первичный измерительный преобразователь и измерительного прибора. К основным узлам измерительного прибора относятся: регулятор чувствительности, фильтр, усилитель и измеритель.

В измерительном приборе производятся преобразование полученных на выходе датчиков импульсов и измерение их параметров.

Электрические датчики, самые чувствительные к сигналам ЧР, подключаются к измерительным выводам высоковольтных вводов или к высокочастотным трансформаторам тока, устанавливаемым на провода заземления, из-за емкостной связи с высоковольтной шиной. Они способны дать лишь очень грубую локализацию источника сигналов ЧР.

Проблема локализации дефекта решается акустическими датчиками благодаря сравнительно низкой скорости распространения сигналов Недостатком является невозможность фиксации частичных разрядов небольшой величины из-за меньшей чувствительности.

Электромагнитные датчики регистрируют электромагнитные сигналы ЧР с помощью антенны, обеспечивая дистанционные

измерения. Они наиболее чувствительны к дефектам в наружных частях оборудования, менее – к сигналам внутри металлического бака.

Получению достоверных сведений о ЧР в изоляции мешает огромное количество частотных помех (различного рода преобразователи, корона, сигналы ВЧ связи). Существует несколько способов отстройки от сигналов помех.

Отстройка от импульсов коронных разрядов по фазе питающего напряжения. Данный способ строится на том, что коронные разряды наиболее интенсивны и имеют наибольшую амплитуду на положительной полуволне питающего напряжения. Их интенсивность и амплитуда короны значительно снижаются на отрицательной полуволне, тогда и делается замер ЧР. Но если ЧР произойдет на положительной полуволне, он зарегистрирован не будет. Поэтому такой способ не удовлетворяет требованиям надежного контроля изоляции.

Отстройка от «внешних» импульсов по времени прихода импульсов от нескольких датчиков. Электрический датчик устанавливается на высоковольтный ввод, так называемый PIN. Электромагнитный, в виде измерительного трансформатора тока, – в нейтраль трансформатора. Предполагается сравнение времени прихода импульсов с двух датчиков. Если датчики фиксируют сигнал одновременно, то это ЧР разряд внутри трансформатора. Если с временным сдвигом, то это сигнал помехи, который регистрирующим прибором пропускается. Точка разветвления пути импульса – ввод в месте установки первого датчика. Точка соединения путей этих импульсов – измерительный прибор. Этот способ надежнее, но также имеет два существенных недостатка. Верхняя часть высоковольтного ввода трансформатора исключена из системы мониторинга и защиты, значит ЧР в верхней части ввода будет восприниматься как помеха. Вторым недостатком является то, что нейтраль трансформатора не всегда заземлена, отчего система отстройки от помех не сработает.

Решение данной проблемы, мне кажется, в следующем. Необходимо сформировать три измерительных канала с электрическими датчиками, на каждую фазу. Одну из фаз выбрать основным каналом, регистрирующим импульсы частичных разрядов в изоляции выбранной фазы трансформатора. Две другие будут опорными для сравнения параметров импульсов в основном измерительном канале с импульсами от датчиков, установленных в двух других фазах одноименной обмотки трансформатора. Шумовой канал, идущий от трансформатора тока, подключенного к нейтрали, позволит проводить амплитудное сравнение импульсов,

регистрируемых со всех других первичных датчиков, подключенных не к PIN вводов первичной обмотки трансформатора. Такими датчиками будут являться акустические датчики, подключенные на стороне НН силового трансформатора. Данная система имеет ряд особенностей:

- импульсы трех фаз первичной обмотки сравниваются одновременно по трем каналам по времени прихода импульса. Это позволяет определить фазу, до которой импульс доходит раньше других, т.е. определить главный измерительный канал. Если изначально он выбран неправильно, то с помощью коммутатора, встроенного в регистрирующий прибор, происходит переключение каналов;
- сравниваются амплитуды импульсов с трех фаз обмотки. Импульс, наведенный с соседней фазы, будет меньше по амплитуде первичного импульса, что позволит исключить помехи от соседних фаз;
- сравниваются импульсы с трех фаз по полярности. Если полярность импульсов различная, то сигнал пришел извне, он прибором не фиксируется. При ЧР полярность трех фаз одинакова;
- сравниваются амплитуды импульсов от акустических датчиков и электрического, установленного на главную фазу. Позволит исключить импульсы, пришедшие по цепям вторичной обмотки.

Данная система должна работать в режиме постоянного мониторинга, фиксировать ЧР в изоляции силового трансформатора, записывать данные на компьютере. Если интенсивность разрядов возрастет, то тогда возможен контрольный осмотр трансформатора со снятием с него напряжения. Таким образом, потребность в плановом периодическом контроле трансформатора отпадет, что позволит снизить простой оборудования, избежать аварий и больших финансовых затрат на ремонт.

Схема системы мониторинга приведена на рисунке 2.

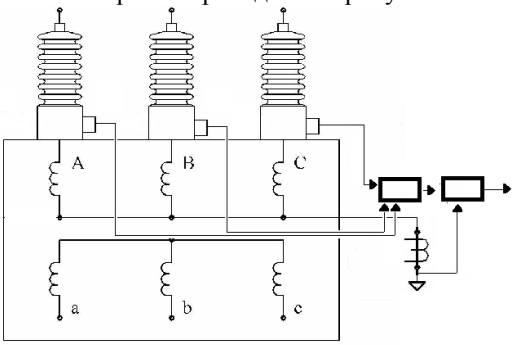


Рис. 2. Схема системы мониторинга

Научный руководитель: к. т. н., доцент Л.Н. Татьянченко

Литература:

1. Ермаков Е.Г., Монастырский А.Е. Применение электрического метода регистрации характеристик ЧР для диагностики высоковольтных силовых трансформаторов. - Материалы Международ. науч.-практ. конф., посвяш. 70-летию Виктора Соколова/Под ред. А.Г. Овсянникова. В Н. Осотова. - Екатеринбург: Изд. дом «Автограф», 2010.
2. Ермаков, Е. Г.. Оптимизация схемы диагностики силовых трансформаторов высших классов напряжения: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.14.12 / Ермаков Евгений Григорьевич; [Место защиты: С.-Петерб. гос. политехн. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2010. - 19 с.
3. Бортник, И. М. Электрофизические основы техники высоких напряжений [Электронный ресурс]: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общей редакцией И. П. Верещагина. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2016.— 704 с.
4. ГОСТ 20074-83 Электрооборудование и электроустановки. Методы измерения характеристик частичных разрядов.

Д.С. Дружинина, В.А.Лебедева, А.В. Мисюркеев, Е.С. Слепцов, Х.М. Майдонов

Братский государственный университет, г.Братск

feia@brstu.ru

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ УГЛЯ НА ТЭС

Для сохранения конкурентоспособности угля на постоянно расширяющемся энергетическом рынке энергетическим компаниям придется принять на вооружение новые прогрессивные способы сжигания угля, которые являются более эффективными, чем традиционные.

Мировое потребление каменного угля составляет около 7,0 млрд т в год и продолжает расти. Широкое использование углей вызывает загрязнение атмосферы оксидами серы и азота, бенз(а)пиреном, твердыми частицами, а их вклад в выбросы углекислого газа, вызывающего «парниковый» эффект, составляет более 40 % [1].

Основные теоретические подходы к решению задач эффективного сжигания топлива [2]:

1. Сжигание угля в псевдоожиженном слое.
2. Газофикация угля.

Сжигание угля в псевдоожиженном слое уменьшает потребность во вспомогательных установках по очистке выбросов электростанции. Псевдоожиженный слой смеси угля и известняка создается в топке котла воздушным потоком, в котором твердые частицы перемешиваются и находятся во взвешенном состоянии, т. е. ведут себя так же, как в кипящей жидкости. Турбулентное перемешивание обеспечивает полноту сгорания угля; при этом частицы известняка реагируют с окислами серы и улавливают около 90% этих окислов. Поскольку нагревательные трубы котла непосредственно касаются кипящего слоя топлива, генерация пара происходит с большей эффективностью, чем в обычных паровых котлах, работающих на измельченном угле. Кроме того, температура горящего угля в кипящем слое ниже, что предотвращает плавление котельного шлака и уменьшает образование окислов азота. Котел с сжиганием в псевдоожиженном слое по своему устройству и принципу работы менее чувствителен к колебаниям качества угля [3].

Такой способ сжигания легко реализуется в котлах модульной конструкции с небольшой паропроизводительностью. По некоторым оценкам капиталовложения на тепловую электростанцию с компактными котлами, работающими по принципу псевдоожиженного слоя, могут быть на 10-20% ниже капиталовложений на тепловую станцию традиционного типа такой же мощности. Кроме того, мощность такой станции можно легко нарастить при увеличении электрической нагрузки, что важно для тех случаев, когда ее рост в будущем заранее неизвестен. Упрощается и проблема планирования, так как такие компактные установки можно быстро смонтировать, как только возникнет необходимость увеличения выработки электроэнергии [3].

К самым крупным загрязнителям атмосферы относятся предприятия теплоэнергетики, выбросы которых составляют около миллиона тонн в год. Главной проблемой является увеличение в выбросах содержания сернистого ангидрида из-за использования непроектного твёрдого топлива (угля) с повышенной зольностью (до 48 %) и высоким содержанием серы [4].

Теперь стало очевидно, что газификация угля имеет и более важное преимущество: горячие продукты сгорания генераторного газа можно непосредственно использовать для привода газовых турбин. В свою очередь отработанное тепло продуктов сгорания после газовой турбины может быть утилизировано с целью получения пара для

привода паровой турбины. Такое совместное использование газовых и паровых турбин, называемое комбинированным циклом, является ныне одним из самых эффективных способов производства электрической энергии [3].

Жизнеспособность электрических станций с комбинированным циклом, работающих на принципе газификации угля, была доказана опытным путем. Содержание окислов серы в уходящих газах поддерживается на уровне значительно ниже установленной нормы с помощью вспомогательной системы улавливания серы, которая удаляет почти всю серу, содержащуюся в исходном топливе, и производит чистую серу, используемую в промышленных целях. Образование окислов азота предотвращается добавкой к газу воды перед сжиганием, что снижает температуру горения газа. Помимо более высокого КПД и меньшего загрязнения окружающей среды станции с комбинированным циклом имеют еще одно преимущество: они могут сооружаться в несколько очередей, так что установленная мощность наращивается блоками. Такая гибкость строительства уменьшает риск чрезмерных или, наоборот, недостаточных капиталовложений, связанный с неопределенностью роста спроса на электроэнергию [3].

Целью этих изменений является улучшение экологической ситуации в стране за счет внедрения наилучших доступных технологий на промышленных предприятиях, создании условий, при которых предприятия будут экономически заинтересованы в модернизации и строительстве нового оборудования с показателями по энергоэффективности и экологической безопасности, соответствующими лучшим мировым образцам.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Шакиров

Литература:

1. Любов В.К., Совместное сжигание каменного угля с биотопливом/ Любов В.К., Ивуть А.Е. // Вестник Череповецкого государственного университета.-2016.-№5(74).-С.16-20.

2. Волков Э.П., Повышение экологической безопасности, надёжности и экономичности пылеугольных котлов/ Волков Э.П., Архипов А.М. // Проблемы региональной энергетики.-2017.-№1(33).-С.45-53.

3. Волчанин К.В., Технологии топливоподготовки и сжигания твердых топлив / Волчанин К.В., Антипов С.О. // Вестник современных исследований.-2017.-№6-1(9).-С.116-119.

4. Досмухамедов Н.К., Очистка отходящих газов промышленных предприятий от серы: анализ работы котла для сжигания серосодержащего угля/ Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Симбинов М.Д. // Фундаментальные исследования.- 2017.- №6.- С.41-47.

И.В. Железовский
Братский государственный университет, г. Братск
ZhelezovskiiIV@Gmail.com

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

В основу преобразователя частоты, заложено двойное изменение формы сигнала питающей электрической сети. На рис. 1 представлен принцип частотного регулирования[1].

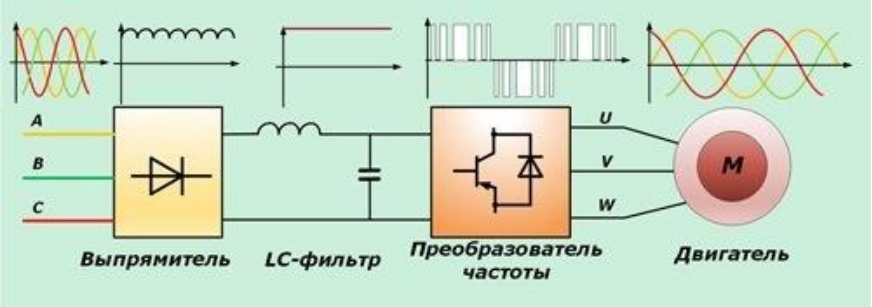


Рис.1. Принцип частотного регулирования

Вначале промышленное напряжение подается на силовой выпрямительный блок с мощными диодами, которые убирают синусоидальные гармоники, но оставляют пульсации сигнала. Для их ликвидации предусмотрена батарея конденсаторов с индуктивностью (LC-фильтр), обеспечивающая стабильную, сглаженную форму выпрямленному напряжению.

Затем сигнал поступает на вход преобразователя частоты, который представляет собой мостовую трехфазную схему из шести силовых транзисторов серии IGBT или MOSFET с диодами

защиты от пробоя напряжений обратной полярности. Используемые ранее для этих целей тиристоры не обладают достаточным быстродействием и работают с бóльшими помехами. [1]

Для включения режима «торможения» двигателя в схему может быть установлен управляемый транзистор с мощным резистором, рассеивающим энергию. Такой прием позволяет убирать генерируемое двигателем напряжение для защиты конденсаторов фильтра от перезарядки и выхода из строя.

Способ векторного управления частотой преобразователя позволяет создавать схемы, осуществляющие автоматическое регулирование сигнала (САР). Для этого используется система управления: широтного импульсного моделирования (ШИМ)

При ШИМ регулировании создается период модуляции сигнала, когда обмотка статора подключается по строгой очередности к положительным и отрицательным выводам выпрямителя.

Поскольку частота такта генератора довольно высокая и расположена в пределах 2÷15 кГц, то в обмотке электродвигателя, обладающего индуктивным сопротивлением, происходит их сглаживание до синусоиды нормального вида. [1]

Способы ШИМ управления позволяют максимально исключить потери энергии и обеспечивают высокий КПД преобразования за счет одновременного управления частотой и амплитудой. Они стали доступны благодаря развитию технологий управления силовыми запираемыми тиристорами серии GTO или биполярных марок транзисторов IGBT, обладающих изолированным затвором.

Принципы их включения для управления трехфазным двигателем показаны на рис. 2 [1].

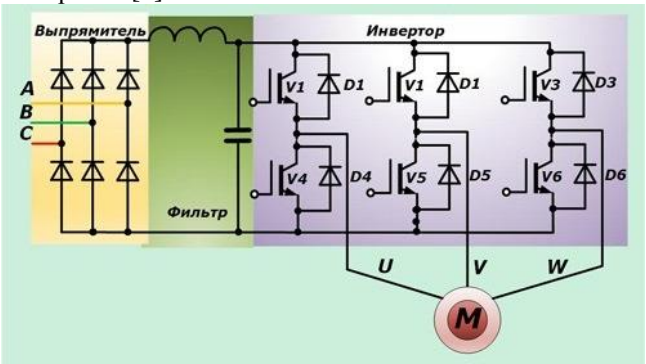


Рис. 2. Принцип включения транзисторных ключей

Каждый из шести IGBT-транзисторов V1÷6 подключается по встречно-параллельной схеме к своему диоду обратного тока D1÷6. При этом через силовую цепь каждого транзистора проходит активный ток асинхронного двигателя, а его реактивная составляющая направляется через диоды.

Для ликвидации влияния внешних электрических помех на работу инвертора и двигателя в конструкцию схемы преобразователя частоты может включаться помехозащитный фильтр, ликвидирующий:

- радиопомехи;
- наводимые работающим оборудованием электрические разряды.

Их возникновение сигнализирует контроллер, а для уменьшения воздействия используется экранированная проводка между двигателем и выходными клеммами инвертора.

С целью улучшения точности работы асинхронных двигателей в схему управления частотных преобразователей включают:

- ввода связи с расширенными возможностями интерфейса;
- встроенный контроллер;
- карту памяти;
- программное обеспечение;
- информационный Led-дисплей, отображающий основные выходные параметры;
- тормозной прерыватель и встроенный ЭМС фильтр;
- систему охлаждения схемы, основанную на обдуве вентиляторами повышенного ресурса;
- функцию прогрева двигателя посредством постоянного тока и некоторые другие возможности. [1]

Частотные преобразователи создаются для работы с однофазными или трехфазными сетями. Трехфазные модели рассчитываются на напряжение сети 380 вольт и выдают его на электродвигатель. Однофазные же инверторы питаются от 220 вольт и на выходе выдают три разнесенных по времени фазы.

Регуляция пускового тока может осуществляться вручную, но это увеличивает затраты электропотребления и снижает срок эксплуатации асинхронного двигателя. Обычно без преобразователя напряжения показания до семи раз превышают значение номинала. Определённо, это не самые лучшие условия для эксплуатации. [2]

Принцип работы преобразователей частоты связан со спецификой действия асинхронного электродвигателя. У двигателя подобного вида наблюдается зависимость между вращательной частотой магнитного поля и частотой напряжения питающего тока. В данном моменте и

заключается смысл методики частотного управления. Изменяемая преобразователем входная частота напряжения отвечает за регуляцию частоты вращения. Таким образом, диапазон значений выходного напряжения весьма широк.

По принципу работы силового элемента частотные преобразователи можно отнести к следующим категориям:

конструкции, имеющие выраженный промежуточный неуправляемый выпрямитель.

конструкции, имеющие непосредственную связь (без промежуточного звена).

Частотные преобразователи второго типа появились гораздо раньше, в них силовой компонент представлен управляемым выпрямителем, сконструированным из тиристоров. Формирование выходного сигнала происходит при поочерёдном отпирании тиристоров управляющим узлом. На сегодняшний день такие преобразователи потеряли свою актуальность.

Что касается частотного преобразователя первого типа, то он примечателен тем, что его можно запитать через внешнее звено постоянного тока. Сам преобразователь при этом защищается предохранителем быстрого действия. Однако, это делает нежелательным применение контакторов, поскольку данная разновидность коммутации провоцирует возникновение повышенного зарядного тока и выгорание предохранителей. [2]

Работа частотного преобразователя связана с принципом двойного преобразования напряжения:

1. Регуляция сетевого напряжения через выпрямление и фильтрование (для этого используются конденсаторные системы).

2. Задействуется электронное управление, устанавливающее заблаговременно выбранную частоту тока.

3. Происходит образование прямоугольных импульсов, корректируемых при помощи обмотки статора. В результате они преобразуются в синусоиду.

Существует диада основных принципов регуляции частотных преобразователей:

Преобразователи частоты, использующие принцип скалярного управления имеют низкую себестоимость. Часто применяются в приводах устройств, где степень частоты вращения может регулироваться в соотношении 1:40. Это позволяет адекватно управлять работой насосов, компрессоров, вентиляторов. К тому скалярный метод позволяет осуществлять регуляцию работы сразу нескольких электродвигателей [2].

Векторный принцип имеет максимальное совпадение характеристик асинхронных электроприводов с параметрами приводов постоянного тока. Этому способствует разделение регуляционных каналов, связанных с потокосцеплением и вращательной скоростью асинхронного двигателя. Частотные преобразователи, работающие в рамках данной системы управления, более дорогие по цене и применяются в устройствах требующих высокоточного регулирования скорости: станках, лифтах, кранах. [2]

Частотный преобразователь позволяет регулировать скорость действия следующих механизмов:

- насосов, перекачивающих горячую или холодную воду по системе водоснабжения и обогрева;
- вспомогательных агрегатов котельных, тепловых электростанций, ТЭЦ и т.д.;
- дробилках, мельницах, мешалках;
- песковых и пульповых насосов, используемых на обогатительных фабриках;
- лифтовых установок;
- разнотипных центрифуг;
- производственных линий, создающих ленточные материалы;
- кранового и эскалаторного оборудования;
- устройств, обеспечивающих силовые манипуляции;
- приводов на буровых станках, специализированных приборов и так далее.

Наиболее очевидна польза частотных преобразователей с точки зрения экономии:

- оптимальный уровень КПД позволяет вдвое экономить электроэнергию;
- количество и качество конечного продукта в производственной отрасли значительно возрастает;
- комплектующие механизма меньше изнашиваются;
- общая длительность эксплуатации оборудования также возрастает.

Как итог, частотный преобразователь отвечает за эффективность и продуктивность функционирования механизмов. [2]

Основным значимым параметром, при выборе той или иной модели преобразователя частоты, на сегодняшний день является именно его стоимость. Это обусловлено тем, что только для дорогого устройства характерна максимальная функциональность. Но это не отменяет наличие специфических требований в зависимости от того,

для механизма какой категории подбирается преобразователь, поэтому необходимо учитывать:

- разновидность и данные по мощности асинхронного электродвигателя, к которому подключается частотник;
- насколько точно и в каком диапазоне можно регулировать скорость;
- насколько точно осуществляется поддержание момента и скорости вращения на валу электрического двигателя;
- соответствие конструкции (формы, размера, пульта управления и так далее) индивидуальным требованиям.

Обязательно также обратить внимание на значение мощности асинхронного электрического двигателя, с которым будет взаимодействовать *преобразователь частоты*. Если один из параметров (например: величина пускового момента, затрачиваемое на разгон или торможение время) должен соответствовать каким-то особым требованиям, то нужно выбрать устройство более высокого класса, чем потенциально подходящее. [2]

Современные электроприводы должны отвечать различным требованиям таким как:

- максимальный КПД;
- широкий диапазон плавной установки скорости вращения, момента, ускорения, угла и линейного положения;
- быстрое удаление ошибок при изменении управляющих сигналов и/или помех;
- максимальное использование мощности двигателя во время сниженного напряжения или тока;
- надежность, интуитивное управление.

Научный руководитель: к.т.н, доцент Ю.Н. Булатов

Литература:

1. Применение современных преобразователей частоты [Электронный ресурс]. – URL: http://www.power-e.ru/2005_01_62.php

2. Частотный преобразователь [Электронный ресурс]. – URL: http://chistotnik.ru/

И.Д. Загустина, А.В. Трофимов
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
chkalovur86@mail.ru

ОПОРЫ ЛЭП ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие композиционных материалов открывает широкие перспективы в строительстве, ремонте и эксплуатации воздушных линий электропередачи всех классов напряжения. Применение прочных и легких диэлектрических опор дает возможность пересматривать не только принципы обеспечения надежности при механических воздействиях, но и обеспечить повышение эффективности комплексов активной и пассивной грозовой защиты.

Композитные опоры воздушных линий электропередач — сравнительно новый тип мачтовых конструкций, история которых насчитывает не более 15 лет. Опыт применения их в настоящее время еще небольшой, но характеристики современных композиционных материалов придают опорам этого типа ряд необычных для других типов опор свойств, представляющих определенный интерес с точки зрения снижения затрат на монтаж и повышения эксплуатационной надежности воздушных линий электропередач [1].

Полученная опора обладает пониженной жесткостью по сравнению с железобетонными аналогами. Это позволяет при буревых скоростях ветра или при обледенении безопасно распределять возникающие локальные избыточные нагрузки по множеству элементов ВЛ и существенно снижает вероятность обрыва проводов и арматуры, а также поломки изоляторов. При этом жесткость вполне достаточна для сохранения безопасных значений габаритов ВЛ. В тоже время конструкционная прочность созданной опоры существенно выше чем у железобетонных и не уступает стальным. Поэтому вероятность излома опоры практически исключается. Высокие диэлектрические свойства ПКМ позволяют существенно снизить требования к изоляции, а также некоторое время (до ремонта) безопасно эксплуатировать линию при повреждении изоляторов и избежать отключений. Последнее очень важно в труднодоступных районах, где ремонтные бригады не всегда имеют возможность оперативно прибыть к месту повреждения, особенно в штормовую погоду. Пониженная жесткость конструкции и и ее высокие диэлектрические свойства позволят ВЛ на композитных опорах сохранить работоспособность в сложных условиях погоды. Здесь оценки авторов подтверждаются опытом энергокомпаний Канады и США.

Стеклопластики (СП) и базальтопластики (БП) близки по своим физико-механическим характеристикам (ФМХ).

Указанные особенности ФМХ СП и БП позволяют создавать сверхлегкие мачтовые конструкции, устойчивые к действию повышенных статических и динамических нагрузок. Кроме того, стеклопластики и базальтопластики являются диэлектриками с очень высокими изолирующими свойствами. Основной недостаток данных материалов — достаточно высокая цена. Поэтому их применение оправдано лишь на линиях, сооружаемых в труднопроходимой местности (горы, тундра, тайга, болота) или для строительства линий высокой степени надежности, обслуживание которых затруднено. Высокие диэлектрические свойства стойки позволяют ВЛ сохранять работоспособность при пробое или перекрытии изоляции, а также исключает возникновение блуждающих токов или гибель птиц.

Условия эксплуатации

1. минимальная температура - -60 °С;
2. максимальная температура - +40 °С;
3. тип атмосферы - промышленная;
4. предельная высота эксплуатации над уровнем моря - 1000 м.;
5. Рабочее значение влажности воздуха (среднегодовое / верхнее) - 75 % / 100 %;
6. интенсивность осадков - 3 мм/мин.;
7. интегральная поверхностная плотность потока энергии солнечного излучения (верхнее рабочее значение) - 1125 Вт/м² [0,027 кал/(см² · с)];
8. плотность потока ультрафиолетовой части спектра (длина волн 200 - 400 нм) - 140 Вт/м² [0,0033 кал/(см² · с)].

Учитывая вышеобозначенные особенности изделий из композитных материалов, авторами была разработана конструкция облегченной высокопрочной быстросборной и быстромонтируемой компактной при транспортировке комплектной композитной промежуточной опоры для ВЛ 6/10 кВ. В таких изделиях испытывают потребность энергосервисные организации нефтегазовых компаний, операторов сотовой связи. В связи с эти к конструкции предъявляются следующие специфические требования:

1. возможность транспортировки не менее 10 опор одновременно вертолетом в грузовой кабине;
2. возможность массовой транспортировки легким вездеходным транспортом;
3. возможность ручной транспортировки секций опоры в местах, недоступных для техники;

4. возможность сборки в полевых условиях с помощью простейших средств;
5. возможность монтажа в пробуренный котлован без использования спецтехники;
6. стойкость опор и всей линии к экстремальным климатическим нагрузкам;
7. возможность продолжения работы линии без отключения при нарушениях изоляции;
8. снижение опасности ВЛ для окружающей среды, вызванной блуждающими токами и исключение случаев гибели птиц на ВЛ.

Эти требования были сформулированы авторами на основе публичных технических заданий компаний «Газпром-Стройтек-Салават» и «Татнефть-Энергосервис» на перспективные типы опор ВЛ 6 - 10 кВ.

Композитные опоры на линиях нового поколения могут соответствовать самым высоким требованиям по надежности, экологичности и эстетичности при высокой степени эффективности решений. Достаточно представить, что опора 10 кВ может быть перенесена и смонтирована практически вручную, а на линиях 110 кВ и выше конструкция опоры может быть использована как самостоятельный изолятор, иметь непосредственное крепление проводов, может быть лишена заземляющего устройства. Немаловажно, что композитные изоляционные опоры могут рассматриваться в качестве аварийно-восстановительного резерва для ВЛ всех классов напряжения.

Проект преследует целью определить концепцию эффективного применения композитных опор при совместном использовании массогабаритных и электроизоляционных преимуществ в контексте электропередач нового поколения [2].

Научный руководитель: старший преподаватель И.Д. Загустина

Литература:

1. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Часть 1. Теоретические основы: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ 2003. – 256 с.

2. Композитные опоры воздушных линий электропередач [Электронный ресурс]. – URL: http://www.altik.su/pylons

И.И. Зарипов, Р.Р. Умутбаев
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань
zarzar2019@mail.ru

АНАЛИЗ СИСТЕМ ГОЛОВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Хорошее освещение дороги перед автомобилем всегда было одним из основных требований безопасности движения. Автомобильные фары прошли путь от керосиновых и ацетиленовых фонарей до современных высокоэффективных систем освещения. В настоящее время большинство автомобилей оборудуется фарами с галогенными лампами, которые более эффективны, чем обычные лампы накаливания. В то же время появляется все больше автомобилей, в фарах которых монтируются газоразрядные лампы, которые еще недавно устанавливались только на автомобилях представительского класса. За последние несколько лет радикально изменились форма отражателя и технология изготовления фар.

В фаре с газоразрядной лампой источником света является электрический разряд, проходящий между двумя электродами, которые расположены внутри колбы из кварцевого стекла. Колба заполнена под давлением смесью инертного газа ксенона и металла галогена. Такие фары часто называют ксеноновыми. Освещение разрядом высокой интенсивности (HID — High Intensity Discharge) обеспечивает более низкое потребление энергии, большую долговечность и лучший световой поток. Ксеноновая лампа мощностью 35 Вт производит вдвое больший световой поток, чем галогенная лампа мощностью 60 Вт. Цветовая температура таких ламп почти соответствует дневному свету. Долговечность газоразрядных ламп достигает 3000 ч, и это не является пределом, потому что конструкция фар, использующих принцип HID, постоянно совершенствуется.

Некоторые разработчики предлагают системы освещения, в которых свет создается единственным HID-источником, находящимся в специальной камере внутри автомобиля, и передается к фарам по оптоволоконным проводникам. Такая система позволяет уменьшить число необходимых ламп, делает более легким размещение системы высокого напряжения и защищает наиболее дорогие элементы системы освещения от возможного повреждения при аварии. Дополнительные преимущества этой системы заключаются в том, что в осветительных приборах свет является холодным, что позволяет

использовать прозрачные пластмассовые материалы, которые не могут применяться в высокотемпературных обычных лампах.

Существуют опытные образцы автомобилей, которые оборудованы инфракрасными видеокамерами, которые гораздо лучше обнаруживают объекты в темноте или в тумане, особенно при использовании их в сочетании с инфракрасными фарами.

Обеспечение безопасности при движении транспортного средства всегда является одной из основных задач производителей. Особенно это становится актуальным в темное время. Одним из вариантов решения подобной проблемы стало создание различных вариантов адаптивного головного освещения, позволяющих водителю значительно улучшить видимость в ночное время.

В настоящее время разными производителями реализованы несколько различающихся вариантов головного адаптивного освещения, из которых можно упомянуть AFS и AFL.

Одной из особенностей автомобиля Škoda Superb являются биксеноновые фары с системой освещения поворота и системой адаптивного освещения дороги (AFS). Система AFS построена на том, что компьютер при маневре транспортного средства изменяет положение фар в соответствии с переменой положения руля. Поворот каждой фары осуществляется на свой угол, для внутреннего поворота он больше, для внешнего – меньше.

Для оценки величины требуемого изменения в положение фар система головного освещения AFS пользуется результатами измерения многочисленных датчиков, имеющихся на авто – положения руля, скорости, курсовой устойчивости и т.д. Например, изменяющиеся данные от датчика ESP (курсовой устойчивости) свидетельствует, что машина находится в состоянии маневрирования, а значит, AFS отключится, и фары не будут повторять изгибы дороги. Свет будет направляться только прямо.

Работает AFS только с биксеноновыми устройствами как на дальнем, так и на ближнем свете.

Свои особенности имеет внедренная компанией «Opel» на дорогих модификациях моделей «Corsa», «Astra», «Vectra» и «Signum» система AFL (Adaptive Forward Lighting – «адаптивное переднее освещение»). Для обеспечения адаптивного освещения в системе AFL, так же как и в AFS, используется поворот фар при изменении положения руля, но кроме этого существуют дополнительные лампочки подсветки.

При движении машины на высокой скорости система головного освещения AFL отслеживает повороты руля, в соответствии с

которыми поворачивает фары. Однако при скоростях ниже семидесяти километров в час AFL при выполнении маневров включает дополнительную лампочку, имеющую широкий угол подсветки. Благодаря этому подсвечиваются повороты, и маневрирование в узких местах и на перекрестках становится гораздо безопасней.

Дополнительным преимуществом AFL может служить зависимость от скорости — при маневрировании или перестроении на автостраде система AFL не включится. Использование биксеноновых фар обеспечивает одинаковое освещение на ближнем и дальнем свете, т.к. для этого задействована одна лампочка. Переключение с дальнего света на ближний AFL производит автоматически.

Светораспределение при системе AFL. На тёмное время суток приходится большое количество аварий и одна из причин этому — плохое освещение дороги. Несмотря на то, что в тёмное время суток все автомобили ездят с включенным светом, порой этого недостаточно для того, чтобы избежать аварии. Давайте рассмотрим простой пример, когда автомобиль движется по затяжному повороту. При такой траектории движения фары автомобиля лучше освещают обочину, нежели дорогу и это один из случаев, когда может пригодиться система адаптивного освещения. Система адаптивного освещения, анализируя скорость движения, угол поворота рулевого колеса, высоту автомобиля и освещённость автоматически настраивает фары, чтобы они освещали дорогу перед автомобилем. Осуществляется это за счёт моторчиков, встроенных в корпус фары и экрана, который позволяет получать луч заданной формы. На рисунке ниже (рис.1) видно как изменяется форма луча в зависимости от скорости движения.

В режиме городского света, при скорости от 0 до 50 км/ч, световой пучок характеризуется малой дальностью и значительной шириной, что позволяет освещать не только проезжую часть, но и прилегающий тротуар. Такое освещение помогает раньше обнаруживать пешеходов.

В режиме освещения поворотов, при скорости от 0 до 70 км/ч, в зависимости от угла поворота, световой пучок может отклоняться в сторону на угол до 15 градусов.

Противотуманный режим специально разработан для применения в неблагоприятных погодных условиях.

В режиме адаптивного освещения поворотов, при скорости от 0 до 250 км/ч, световой пучок максимально освещает полосу, по которой едет автомобиль, и минимально освещает встречную полосу.

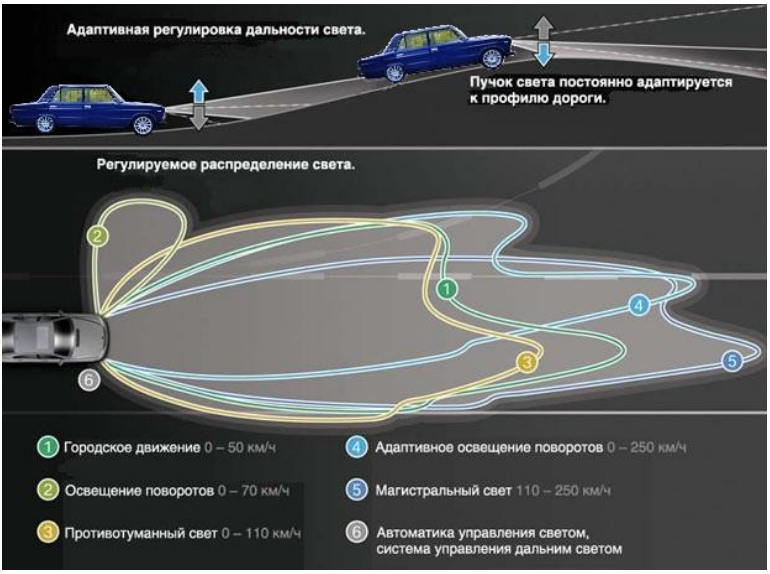


Рис.1. Распределение света при движении автомобиля

В режиме магистрального освещения, при скорости от 110 до 250 км/ч, световой пучок имеет вытянутую форму.

Режим управления дальним светом, для работы этого режима на автомобиле должна быть установлена видеокамера, которая будет фиксировать движение встречных автомобилей. Здесь возможны две реализации, либо световой пучок будет принимать форму, которая не будет ослеплять, движущихся на встречу водителей, либо световой пучок с помощью специальной шторки, будет затемняться в месте обнаружения встречного автомобиля.

И ещё система адаптивного освещения не работает, если автомобиль движется задним ходом.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Е.Ю. Федеров

Литература:

1. Система освещения автомобиля : учеб. пособие / В. Н. Ашанин, В. И. Коротков, С. Е. Ларкин. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – 258 с.

2. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Совлуков. - Москва: Техносфера, 2012. - 624 с.

О.С. Иванов
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета,
п. Черемушки
ivanovoleg94@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ ГИДРОАГРЕГАТА ГЭС

Частота вращения гидроагрегатов находится в пределах 85,7 - 300 об/мин. При возникновении дефектов, связанных с нарушением геометрии гидроагрегата такие как: наличия трения в подшипниках, задевание вращающихся частей о неподвижные, дефекты неподвижных частей, масленое голодание подшипников и подпятника, возникают участки трения, в которых происходит резкое возрастание температуры. Для контролирования таких вращающихся узлов гидроагрегата, предлагается использовать инфракрасные датчики температуры. А так же разработать методы эффективного контроля состояния гидроагрегатов, находящихся в эксплуатации, которые позволят выявлять дефекты и неисправности оборудования на ранней стадии их развития.

Рассмотрим дефекты, возникающие при работе гидроагрегата.

1. Нагрев уплотнения подпятника

При осуществлении контроля гидроагрегата следует проверять состояние уплотнения между ступицей подпятника и корпусом маслованны, обеспечивающего защиту гидрогенератора от замасливания протечками и парами масла: уплотнительные элементы (резина, войлок, кожа) не должны иметь задиров, обеспечивать плотный контакт со ступицей, при этом уплотнение должно работать, не вызывая местный перегрев зоны контакта.

В случае нагрева в зоне контакта уплотнения и ступицы гидрогенератора, происходит изнашивание уплотнения, потеря герметичности и подсос паров масла [1, с.14].

2. Нагрев в подпятнике

Неравномерный нагрев ступицы подпятника может возникнуть в результате следующих отклонений в геометрии агрегата:

1. Ось ступицы подпятника не совпадает с осью вращения гидроагрегата. Возникает участок трения ступицы об уплотнение, что приводит к нагреву в подпятнике.

2. Не соосность корпуса уплотнений и ступицы подпятника с осью вращения или дефект уплотнения, приводит к нагреву по всему

периметру и искривлению ступицы, в следствии, конструктивных особенностей (ребер жесткости), рисунок 1.

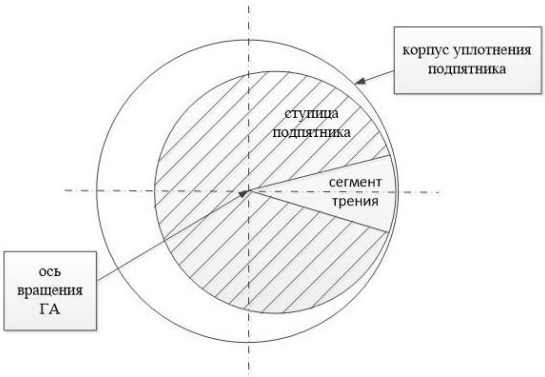
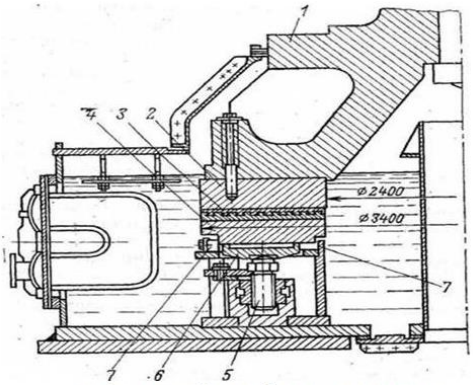


Рис. 1. Сектор трения сегмента подпятника

Для примера рассмотрим первый вариант развития дефектов. При вращении ступицы подпятника и трение её об уплотнение, происходит неравномерный нагрев кого-то сегмента ступицы. В результате неравномерного нагрева ступицы подпятника (а вместе с ней и остова ротора), происходит линейное температурное расширение, что приводит к деформации диска подпятника, рисунок 2.



где 1-ступица; 2-диск; 3-верхушка сегмента;
4-основание сегмента; 5- опорный болт;
6-опорная тарелка; 7-упоры.

Рис. 2. Подпятник гидроагрегата

В результате чего искривляется поверхность диска пяты, и наблюдается рост боя диска подпятника и абсолютной вибрации опорных узлов [2, с. 119].

Поле распределение температуры по поверхности ступицы подпятника повторяет неровность поверхности диска подпятника, рисунок 3.

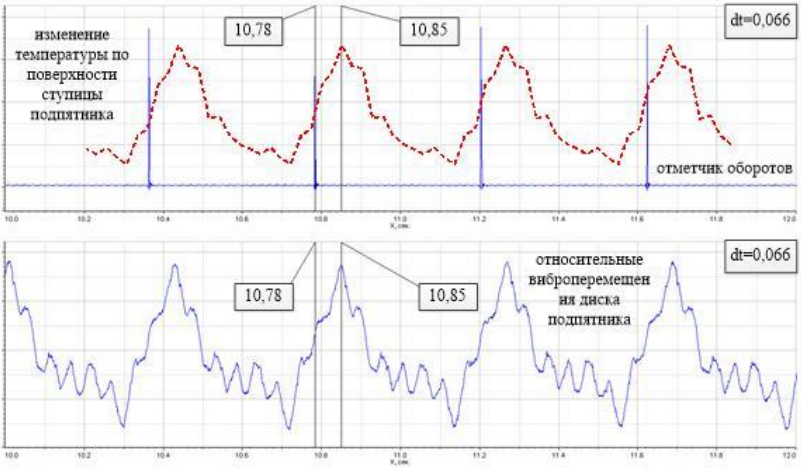


Рис. 3. Зависимость распределения температуры по ступице подпятника и относительных виброперемещений диска пяты

Отмечено, что в ряде случаев после останова и остывания гидроагрегата в ступице и диске пяты остаются остаточные температурные деформации, которые впоследствии невозможно исправить [1, с.144].

В результате именно контроль таких параметров как: неравномерный нагрев ступицы подпятника, изменение формы диска пяты во время прогрева гидроагрегата, контроль температуры поверхности диска пяты, может значительно продлить срок службы узла, элементов трения и собственно всего гидроагрегата. Поэтому необходимо разработать методику по измерению температуры в элементах трения для контроля и мониторинга состояния гидроагрегата, а так же разработать методику, позволяющую оценить влияние температуры на вибрацию.

Рассмотрим вопросы измерения температуры. Зачастую образуются неисправимые дефекты, которые приводят к повышению вибрации узлов гидроагрегата. Для предотвращения развития дефектов, которые описаны выше, рассмотрен вариант применения бесконтактных (инфракрасных) датчиков в различных частях гидроагрегата (подпятника, подшипников и ротора гидрогенератора). Измерение температура является методом, при котором будут

определены участки с повышенной температурой и возможность принятия мер до изменений в конструкции (образования неисправимых дефектов).

Плюсы таких датчиков является: очень малое время сбора данных о температуре объекта контроля, а так же при использовании таких датчиков, удается избежать искажений температурного поля объекта измерений, так как не требуется непосредственного соприкосновения термоприемника с телом [3, с. 73]

Для своевременного контроля ответственных узлов, а также таких поверхности трения как: диск пяты, ступицы, поверхности вала и вращающихся полюсов ротора, предлагается использовать инфракрасные датчики, на примере представленных в таблице 1.

Таблица 1- Инфракрасные датчики температуры

Название датчика	Точность	Диапазон температур	Время сбора данных
Omron ES1C	2°C	0 до 400°C	100 мс
Кельвин АРТО 350 Ц	1%+1°C	-50 до 350 °C	180 мс
Compact CS LT	±1,5 °C или ±1,5 %	-40 до 1030 °C	25 мс
Csmicro LT 15	±1 %, или ±1,5 °C	–20…350 °C	30 мс
TEKKHOY Cthot LT02H	±1,5 °C или ±1 %	–40…975 °C	100 мс
HIGH PERFORMANCE LT	±1%, но > ±1 °C	–50…975 °C	120 мс

В связи с высокой стоимостью высокосортных ИК датчиков, и особенными условиями эксплуатации. Мы предлагаем решить проблему скорости сбора данных, путем разработки программного обеспечения и методики, которое позволит использовать представленные датчики для контроля вращающихся поверхностей.

Рассмотрим работу датчика и системы контроля температуры диска подпятника. В качестве объекта контроля был принят диск подпятника гидрогенератора. Установлено, что зона нагрева при установившемся процессе работы располагается осесимметрично с максимальным значением температуры на периферии диска (условие положительного температурного перепада) [4, с. 1].

Для анализа показаний диска подпятника, необходимо не менее трех датчиков для измерения температуры, на внешней стороне, на внутренней стороне и посередине объекта контроля. На рисунке 4, показано красными линиями, траектория контроля поверхности диска пяты с использованием инфракрасных датчиков.

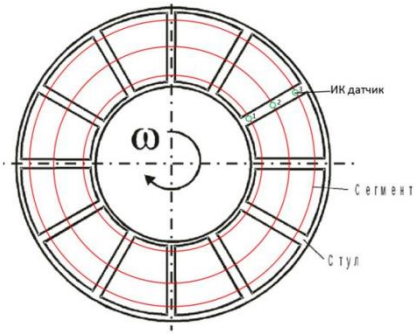


Рис. 4. Расположение и траектория контроля поверхности диска пяты с использованием инфракрасных датчиков

1 точка – датчик расположен на внутренней стороне. 2 точка – датчик расположен посередине. 3 точка – датчик на внешней стороне.

Датчики будут располагаться в зазорах между сегментами подпятника, рисунок 5.

Рис. 5. Расположение ИК датчиков

Самая большая температура находится на периферии диска. Это так же доказывает так факт, что самая удаленная точка от центра диска, вращается быстрее чем, те точки, которые находятся ближе к центру. А так же, тот факт, что площадь трения диска и сегмента больше в этом месте.

Рассмотрим методику оценки причин повышения температуры. Рассмотрим распределение температур по поверхности диска однорядного подпятника. Большой градиент температур, будет первым признаком дефекта на объекте контроля и поводом к необходимости принятия мер по его устранению, рисунок 6.

Разработанная методика позволяет определять дефекты в подпятнике гидроагрегата. При повышении температуры поверхности диска подпятника на 5°С срабатывает предупредительная

сигнализация, а при повышении температуры на 10°С происходит аварийный останов гидроагрегата [5, с. 34].

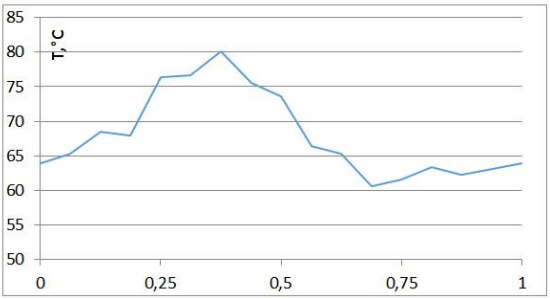


Рис. 6. Распределение температуры по траектории поверхности контроля диска пяты

На рисунке 7 изображены 3 точки, которые соответствует расположениям ИК датчиков рисунка 4 в одном сечении.

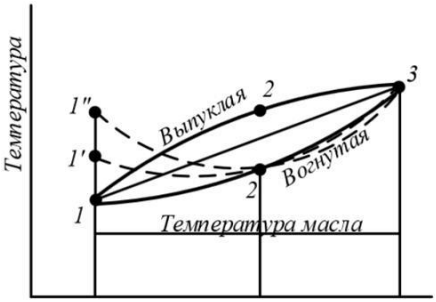


Рис. 7. Распределение температуры в подпятнике

Распределение температур может иметь вид: прямой, выпуклую и вогнутую линии.

Прямая линия означает, что ГА стоит.

Вогнутая – ГА работает нормально.

Выпуклая - с ГА что-то не так и необходимо применять меры.

Если вогнутая линия начинается из точки 1´, говорит о масляном голодании сегментов. Если из точки 1´´, то это развитый дефект из-за масляного голодания. Так же можно отметить следующие критерии:

1. Температура масла больше любой точки поврехности трения, вероятная причина – неисправность датчика (ИК или температуры масла).

2. Температура в центе больше чем внешняя означает, что сегменты подвисают, увеличивается трение по внутренней стороне.

3. Температура поверхности трения ниже температуры масла или эти температуры равны, означает признак подвисания сегментов.

4. Повышение температуры крайних точек, говорит о маслянном голодании сегментов.

5. В случае если температура сегментов подпятника уменьшилась до температуры масла в ванне, это четко указывает на потерю соприкосновения с зеркалом пяты в следствии разрушения его опоры (тарелки) [2,с. 210].

Наблюдение за состоянием агрегата в отношении температуры позволяет эксплуатационному персоналу вовремя обнаружить неполадки с агрегатом, а предлагаемый подход к измерениям поможет выявить дефект в узлах трения гидроагрегата без проведения длительных и дорогостоящих испытаний и ремонтов. Так же измерение температуры позволит до не обратимых изменений, провести необходимые ремонтные работы по устранению дефектов.

Научный руководитель: Демшин К.А.

Литература:

1. Александров А.Е. Подшипники гидроагрегатов /А.Е. Александров. - М.: Энергия, 1975.

2. Михайлов М.Г. Непредусмотренные ситуации при использовании комплексных проектов гидроэлектростанций / М.Г.Михайлов – учебное пособие.: Санкт-Петербург, 2011.

3. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы / Г.М. Иванова. - М.: «Энергоатомиздат», 2004.

4. Хвиюзов. М.А., Галашев. А.Н. Расчет температуры нагрева поверхности пильного диска при осуществлении пирометрического контроля. // Научная библиотека – 2013. [Электронный ресурс]. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20245984 (дата обращения 04.06.2017).

5. СТО 70238424.27.140.006-2010. Гидрогенераторы. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Дата введения 2010.

Н.С. Карнаухов, В.А. Торощин
Лысьвенский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Лысьва
khamat_e@mail.ru

РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Вопрос обеспечения пожарной безопасности в нашем мире очень значим.Пожары являются одной из самых больших бед современного мира, они причиняют колоссальный ущерб человечеству и природе.

По данным официальной статистики, в период с 2011 года по 2015 год в Российской Федерации регистрируется более 160 тысяч пожаров, причем значительная часть возгораний приходится на промышленный сектор. Не секрет, что такие пожары чреваты самыми трагическими последствиями вплоть до экологических катастроф. Прежде всего, это относится к опасным производственным объектам, где проблема обеспечения безопасности является приоритетной.

Федеральный закон «О пожарной безопасности» определяет пожар как неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства. Пожарная безопасность определяется как состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров.

Основными причинами возникновения пожаров являются: неосторожное обращение с огнем, нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования, нарушения правил проведения огневых работ и т.д.

Основные причины возникновения пожаров делятся на электрические и неэлектрические.

К электрическим причинам относят:

- Электрическая сварка;
- Молния;
- Токи коротких замыканий и перегруза, вызванного разрушением изоляции;
- Слабые соединения контактов;
- Электростатика и искрение;
- Электрическая дуга.
- К неэлектрическим причинам относят:
- Ненадлежащее обращение с огнем;
- Неправильное обращение с газовым оборудованием и паяльными лампами;

- Неисправность печей и режима их работы;
- Неисправности оборудования
- Самовозгорание;
- Курение в неположенных места.

Зачастую, на предприятиях не соблюдается либо отсутствует противопожарный режим, из-за этого персоналу не хватает знаний в области пожарной безопасности. Причиной этого является недостаточная деятельность руководителей и должностных лиц по организации обеспечения пожарной безопасности.

Чтобы грамотно построить систему пожарной безопасности необходимо, в первую очередь, руководствоваться следующим принципом: обеспечение пожарной безопасности в организации - это работа всего коллектива, а не отдельных должностных лиц.

Отдельное внимание необходимо обратить на рациональное распределение обязанностей и ответственности всего персонала организации.

Как показывает практический опыт, ответственными за пожарную безопасность различных объектов разумно назначать руководителей, подчиненные которых работают на данных участках. Это вызвано тем, что этим должностным лицам предоставлены соответствующие властные полномочия, в том числе и в отношении привлечения работников к дисциплинарной ответственности. Количество лиц, назначенных ответственными за пожарную безопасность, и участков, закрепленных за ними, должно быть таким, чтобы они реально в полной мере могли выполнять возложенные на них в этой области обязанности, в том числе и контрольные функции.

Ответственными за пожарную безопасность соответствующих инженерных систем (электроустановок, систем отопления и вентиляции и т.д.) целесообразно назначать должностных лиц, организующих их эксплуатацию.

Разделение обязанностей и ответственности между персоналом организации осуществляется посредством издания локальных нормативных правовых актов, основными из которых с юридической точки зрения являются приказ об обеспечении пожарной безопасности и инструкции о мерах пожарной безопасности.

Инструкции о мерах пожарной безопасности разрабатываются в соответствии с Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03) и должны содержать рациональный объем материала. Работники не будут внимательно изучать документы, состоящие из нескольких десятков страниц и включающие вопросы, не характерные для их деятельности и поведения на территории

организации. В то же время основным предназначением инструкций является доведение до работников тех требований, которые они должны выполнять. Поэтому поверхностное отношение к их разработке может привести к тому, что ответственность за нарушения, повлекшие пожар, будут нести руководители и должностные лица, а не те работники, действия которых привели к происшествиям, так как соответствующая информация по их предупреждению не была доведена документально оформленным образом [7, 9].

Анализируя причин возникновения пожаров можно сказать, что большинство из них происходит по вине людей, В связи с чем, одним из важнейших направлений в области пожарной безопасности является обучение работников.

Установлены такие виды обучения работников мерам пожарной безопасности: противопожарный инструктаж и пожарно-технический минимум.

Ответственность за организацию и своевременность обучения несут как руководители, так и должностные лица. Требования к обучению приведены в нормах пожарной безопасности "Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций. [5, 6].

В организациях формирование знаний и умений, привитие практических навыков правильного поведения персонала в условиях пожара должно проводиться в рамках обучения мерам пожарной безопасности, особое внимание при этом следует уделять организации проведения противопожарных тренировок.

В соответствии со статьей 16 ППБ 01-03 на объектах с массовым пребыванием людей должна быть разработана инструкция, определяющая действия персонала по обеспечению безопасной и быстрой эвакуации людей, по которой не реже одного раза в полугодие должны проводиться практические тренировки всех задействованных для эвакуации работников [6].

Огромная роль в обеспечении пожарной безопасности в условиях пожара отводится первичным средствам пожаротушения и системам пожарной автоматики, которые нередко находятся в ненадлежащем состоянии или вовсе отсутствуют.

В соответствии с ППБ 01-03 на каждом объекте следует назначить приказом лиц, ответственных за приобретение, ремонт, сохранность и готовность к действию первичных средств пожаротушения. Для качественной эксплуатации установок пожарной автоматики (пожарной сигнализации, пожаротушения и т.д.) приказом или распоряжением администрации должны быть назначены лица, ответственные за их эксплуатацию, обслуживающий персонал для

производства технического обслуживания и ремонта, а также оперативный (дежурный) персонал для круглосуточного контроля за работоспособным состоянием установок. Руководители организаций, в которых не имеется возможности собственными силами осуществлять техническое обслуживание установок и содержать обслуживающий персонал, обязаны заключить договор на техническое обслуживание и планово-предупредительный ремонт установок со специализированными организациями, имеющими лицензию Государственной противопожарной службы на проведение соответствующего вида работ. При этом ответственность с администрации предприятия за выполнение требований к содержанию установок не снимается.

Изложенный в статье материал еще раз подтверждает необходимость строгого и четкого соблюдения всех требований для обеспечения пожарной безопасности организации, а также призывает руководителей организаций более ответственно и грамотно подходить к решению этого сложного вопроса, ведь от своевременных действий руководства зачастую зависит безопасность и жизнь работников.

Научный руководитель: к.п.н. В.А. Кочнев; к.п.н. Е.Н. Хаматнурова

Литература:

1. Акатьев В. А. Основы взрывопожаробезопасности. — М.: РГСУ, 2008. — 552 с.
2. Баратов А. Н., Пчелинцев В. А. Пожарная безопасность. — М.: Ассоциация строительных вузов, 2006. —144 с.
3. Гринин А. С. Пожарная и взрывная безопасность/А. С. Гринин / Гринин А. С. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие/ А. С. Гринин, В. Н. Новиков.-М., 2002.-С.95
4. Дешевых Ю. Государственный пожарный надзор в современных условиях/ Ю. Дешевых, В Волков //Гражданская защита.-2006.-№3.-С. 15-17.
5. Клепинина Т. Безопасность и защита человека в ЧС: пожарная безопасность/ Т. Клепинина, М. Комова, Г. Прытков //Библиотека журнала "Основы безопасности жизнедеятельности".-2006.-№1.-С.36-56
6. Коробко В. Многофункциональная пожарно-спасательная служба как инструмент управления стратегическими рисками/В. Коробко // Гражданская защита.-2005.-№2.-С.36-37.

Д.С. Кибец, С.В. Щепляков
Братский государственный университет, г.Братск,
feia@brstu.ru

СОЛНЕЧНАЯ ЧЕРЕПИЦА TESLA

Применение обычных солнечных панелей в качестве кровельного покрытия является устаревшей технологией. Современное проектирование системы электроснабжение дома рассматривает возможность интеграции солнечной электростанции в кровлю вместо черепицы. Недостатками такого решения является слабая вентиляция модулей, ведущая к перегреву, соответственно, сокращению выработки солнечных панелей [1], а также некоторое ухудшение ремонтопригодности (ремонт проводиться сложнее, чем на электростанции, установленной поверх кровельного покрытия). Первый недостаток решается путем созданий новых конструктивных решений, а второй не является значительным.

Анализ публикаций по данной теме выявил, что компания Tesla анонсировала солнечную черепицу, которая выполняется из трех слоев: цветной экранизирующей пленки, высокоэффективной солнечной панели и слоя закаленного стекла (рис. 1).

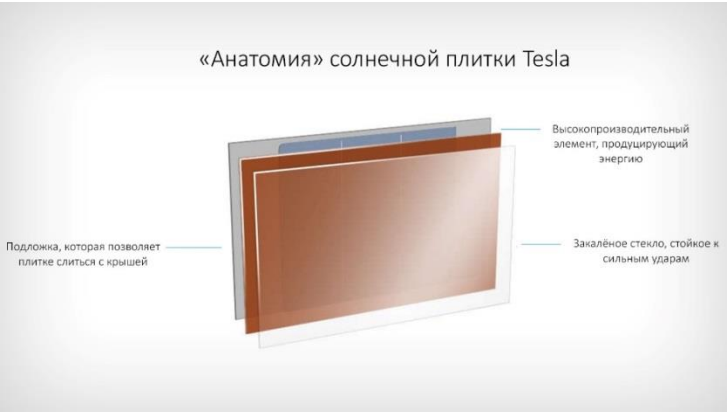


Рис. 1. Строение солнечной черепицы Tesla

Стекло является высокопрочным, при этом его плотность до пяти раз ниже чем у бетона, то есть черепица Solar Roof окажется в три-пять раз легче традиционной черепицы [2]. Еще одно важное достоинство — особый генерирующий слой, - даже при высоких температурах

эффективность элемента не падает, в отличии от традиционных солнечных батарей.

Подключение панелей Tesla ничем не отличается от традиционной схемы подключения солнечных батарей (рис.2). Напряжение постоянного тока из черепицы попадает в аккумулятор Powerwall, который передает его в инвертор для преобразования в переменный ток [3].

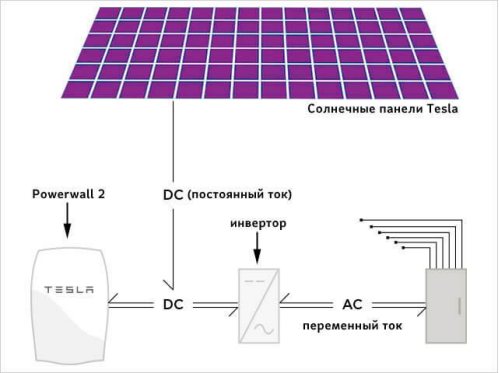


Рис. 2. Общая схема подключения солнечных батарей

Для хранения электроэнергии, получаемой от солнечной черепицы, предложено использовать батарею Powerwall со встроенным инвертором. Емкость этой литий-ионной батареи составляет 14 кВт·ч, весит она 122 кг, и устанавливается на пол или на стену [1]. Гарантированный срок эксплуатации батареи — 10 лет, количество циклов заряда-разряда неограниченно. Номинальная мощность, которую можно потреблять от батареи непрерывно и безопасно — до 5 кВт [2]. На данный момент батарея стоит 5500 долларов и входит в комплект Tesla Solar.

Эксперты США и Европы прогнозируют революционный спрос на новейшую разработку [3]. С учетом всех достоинств и недостатков, предполагается, что в будущем установка солнечной черепицы станет альтернативой в энергетике.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.Н. Яковкина

Литература:

1. Солнечные панели [Электронный ресурс]. – URL: http://electrik.info/main/news/1195-solnechnaya-cherepica-tesla.html

2. Солнечная черепица [Электронный ресурс]. – URL: https://nilsonmag.com/open/index.php?route=blog/article&article_id=131
3. Солнечная черепица Tesla [Электронный ресурс]. – URL: https://krovportal.ru/krovlya/tesla-solar-krysha/

М.Г. Ковалькова
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, п. Черемушки
devilman91@mail.ru

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС С ЛИТОЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМОЙ

История строительства грунтовых плотин с асфальтобетонной диафрагмой (АБД) положила свое начало в 1933 году. Но уже в 1988 г. на XVI Международном конгрессе по большим плотинам в США в результате обобщения мирового опыта строительства грунтовых плотин была принята резолюция о том, что грунтовые плотины с диафрагмой или экраном из асфальтобетона являются наиболее перспективным и экономичным типом высоких плотин в будущем, вследствие высокой надежности такой конструкции и простоты возведения. И действительно, в настоящее время в мире построено и успешно эксплуатируются уже более 90 каменно-набросных плотин (КНП) с АБД [1].

Широкое применение диафрагм из гидротехнического асфальтобетона обусловлено, прежде всего, физико-механическими свойствами данного материала. Основные преимущества применения асфальтобетонных диафрагм перед плотинами с грунтовыми противофильтрационными устройствами (ПФУ) или плотинами с железобетонными экранами следующие [2, 3, 4, 5]:

1) возможность управлять в достаточно большом диапазоне свойствами асфальтобетона, подбирая соответствующие составы;

2) высокая водонепроницаемость и водоустойчивость асфальтобетона позволяют выполнять противофильтрационный элемент сравнительно тонким;

3) вязкоупругие, пластические и текучие свойства АБД обеспечивают «самозалечиваемость» диафрагмы в случае образования трещин;

4) асфальтобетон устойчив к эрозии и старению. Расчетный срок его эксплуатации превышает 200 лет;

5) находясь в теле плотины, диафрагма защищена от механических воздействий (ледовых, волновых), перепадов температур;

6) асфальтобетон очень устойчив к сейсмическим нагрузкам и может выдерживать большие деформации растяжения и сдвига без растрескивания, даже при низких температурах;

7) благодаря пластичности АБД хорошо отслеживает любые деформации грунтовых призм и основания, в том числе не боится значительных неравномерностей в осадках и смещениях соседних зон. Вследствие этого плотины с АБД могут возводиться на основаниях из сжимаемых и неоднородных грунтов;

8) строительство грунтовых плотин с АБД может вестись более быстрыми темпами по сравнению с плотинами с грунтовыми ПФУ или плотинами с железобетонными экранами, вследствие ряда технологических преимуществ:

- наращивание диафрагмы может вестись как одновременно с отсыпкой тела плотины, так и с некоторым опережением отсыпки;

- возможность приостановки наращивания диафрагмы без каких-либо отрицательных последствий для надежности и качества работы конструкции;

- возможность возведения диафрагмы в сложных погодно-климатических условиях без влияния на качество работ;

- возможность оперативного контроля качества возведения диафрагмы.

Мировой опыт строительства и эксплуатации грунтовых плотин с АБД в качестве противофильтрационного элемента составляет уже более 50 лет. Ни на одной из построенных в мире плотин такого типа ни разу не фиксировалось фильтрации через АБД [2, 3]. В настоящее время проектируется и строится больше плотин этого типа, чем когда-либо ранее.

В зарубежной практике в качестве ПФУ грунтовых плотин применяют диафрагмы из уплотняемого асфальтобетона. Это плотины Korpu (Турция) высотой 139 м, Storglomvatn (Норвегия) высотой 128 м, Yele (Китай) высотой 125 м, Xieka (Китай) высотой 108 м, High Island East (Гонконг) высотой 105 м и др. Технология укладки уплотняемого асфальтобетона имеет ряд особенностей: строгое соблюдение температуры и толщины укладываемого слоя смеси, своевременное уплотнение смеси катками вибрационного действия, невозможность производства работ при отрицательных температурах наружного воздуха, а также в дождь. Последнее условие не позволяет применять технологию уплотняемого асфальтобетона на большей

части территории России из-за слишком короткого строительного сезона.

В 1970 году в СССР был взят курс на освоение богатейших гидроресурсов Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера. Для возведения противофильтрационных конструкций грунтовых плотин в столь суровых климатических условиях учеными ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» были разработаны составы и технология возведения литого гидротехнического асфальтобетона.

С использованием данной технологии были спроектированы и построены плотины: Ирганайской ГЭС высотой 101 м и Гоцатлинской ГЭС высотой 68 м (Республика Дагестан), Богучанской ГЭС (Сибирь) высотой 77 м, ГЭС Хадита (Ирак) высотой 56 м.

Литой гидротехнический асфальтобетон отличается от уплотняемого целым рядом преимуществ [4, 5], в числе которых можно выделить следующие:

1) литой асфальтобетон – это удобоукладываемый материал, он достаточно пластичен, самоуплотняем, устойчив к суффозии и старению. В процессе остывания он достигает требуемой плотности и остаточной пористости до 3%;

2) литой асфальтобетон можно укладывать слоями толщиной>120 см в отличие от уплотняемого с рекомендуемой толщиной слоя 20 см;

3) укладку литого асфальтобетона можно вести как непрерывно, так и дискретно на разных участках любой протяженности, в том числе и ступенчато;

4) контактные поверхности литой диафрагмы плоские, что исключает в дальнейшем образование продольных трещин;

5) литой асфальтобетон можно укладывать при отрицательных температурах наружного воздуха, а также при дожде и в снег;

6) литой асфальтобетон в большей степени (относительно уплотняемого) способен к самозалечиванию и самоуплотнению трещин, в том числе в условиях отрицательных температур.

Проект каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС был разработан АО «Институт Гидропроект» с участием АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» в 80-е годы прошлого века.

Богучанская ГЭС расположена на реке Ангара в Кежемском районе Красноярского края. Напорный фронт гидроэлектростанции создает бетонная гравитационная плотина и КНП из местных материалов с вертикальной диафрагмой из литого асфальтобетона [4].

Основание КНП расположено на участке со сложными инженерно-геологическими условиями, которые предопределили

очертание профиля плотины и ее основных элементов. В состав сооружения входят: верховая и низовая упорные призмы; переходные зоны с верхнего и нижнего бьефов; АБД; супесчаный понур; супесчаный экран; контрбанкеты у правого борта с нижнего и верхнего бьефов. Максимальная высота плотины в пределах русла 77 м, ширина гребня 20 м, длина тела плотины по гребню 1861,3 м [4].

Вертикальная АБД расположена по оси плотины и опирается на железобетонную плиту. Диафрагма по высоте имеет ступенчато-переменное сечение, и изменяется равномерно от 3,0 до 0,8 м.

Сопряжение асфальтобетонной диафрагмы с бетонной плотиной осуществляется путем уширения АБД до 4,0 м и приданием примыкающей бетонной поверхности уклонов 20:1 по вертикали и 3,66:1 в радиальном направлении. Для повышения надежности узла сопряжения организовано устройство асфальтовой шпонки, снабженной электрообогревом.

Состав асфальтобетонной смеси был подобран учеными АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». Полученный асфальтобетон отличался повышенной водоустойчивостью, эластичностью, трещиностойкостью и высокой водонепроницаемостью, с коэффициентом фильтрации 10^{-8} – 10^{-12} см/с.

Укладка литого смеси велась по технологии укладки цементного бетона: асфальтобетонный завод – самосвал – бадья – опалубка. В процессе укладки производился контроль высотного и планового положения АБД, температуры смеси. Для формирования асфальтобетонных блоков была использована переставляемая металлическая опалубка. Высота блоков составляла 1,2 м. После распалубки блоки обсыпались переходными слоями, которые служат для передачи равномерного давления от упорных призм плотины на асфальтобетонную диафрагму. Ширина переходных зон 4,5 м. Их укладка проводилась слоями по 0,5 м с уплотнением виброкатками до плотности не менее 2,20 т/м^3 при пористости не более 25%.

К переходным зонам с верхнего и нижнего бьефов примыкают упорные призмы из качественного рваного камня долеритов. Укладка камня осуществлялась слоями по 1,2 м с уплотнением виброкатками до необходимой плотности грунта 2,2 т/м^3. Поперечный разрез КНП представлен на рисунке 1.

Для снижения фильтрационного расхода через основание КНП выполнено два вида цементации: сопрягающая и глубокая цементационная завеса.

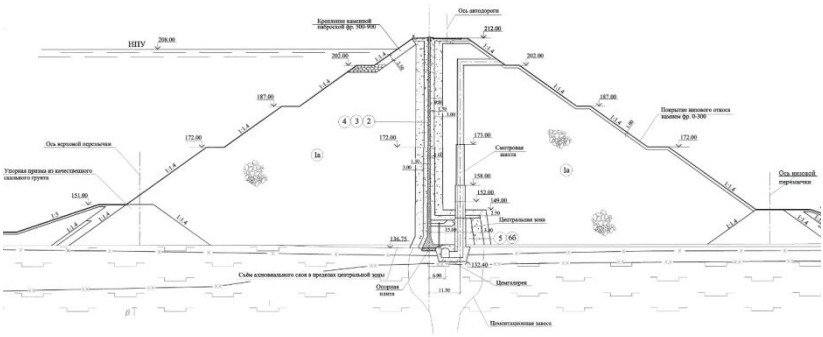


Рис. 1. Поперечный разрез КНП на ПК 17+30

Для контроля состояния КНП, оценки ее надежности и безопасности, в составе проекта Богучанской ГЭС был разработан Комплексный проект мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений (ГТС), в соответствии с которым на сооружении организованы инструментальные и визуальные наблюдения. В дальнейшем, с учетом полученных в период наполнения водохранилища натурных данных, в проект мониторинга был внесен ряд дополнений. В частности, был усилен контроль состояния узла сопряжения АБД с бетонной плотиной, пробурены дополнительные пьезометры в основании, установлены термоплети с электронными датчиками для наблюдений за температурным режимом низовой упорной призмы, изменена схема измерений осадок и плановых смещений колец смотровых шахт.

В настоящее время на сооружении инструментальный контроль ведется по 594 измерительным точкам геодезической контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), 733 точкам закладной телеметрической КИА и 211 точкам фильтрационной КИА.

Кроме этого, опытными специалистами станции проводятся систематические осмотры и обследования всех доступных элементов плотины.

Все результаты инструментальных и визуальных наблюдений сразу по окончании очередного цикла наблюдений подвергаются обработке и оперативному анализу. Комплексный анализ технического состояния КНП выполняется ежегодно Инженерно-Аналитическим центром ПАО «РусГидро», функции которого выполняет АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

Кроме наблюдений, предусмотренных Комплексной программой мониторинга, ежегодно проводятся геофизические исследования водонепроницаемости диафрагмы и узла сопряжения АБД с бетонной

плотиной, исполнителем которых является филиал АО «Институт Гидропроект» – «ЦСНГЭО».

Наполнение водохранилища и первые годы эксплуатации при проектных напорах являются самыми важными в жизни любого ГТС. Именно в этот период, согласно мировой практике, происходят наиболее часто аварии плотин. Для обеспечения быстрого обнаружения каких-либо возможных неблагоприятных процессов в состоянии плотины и принятия своевременных мер по их устранению, во время наполнения водохранилища (2012 – 2015 гг.) Богучанской ГЭС и в период испытания ГТС проектным напором все наблюдения проводились в учащенном режиме.

На сегодняшний момент, по результатам оперативного и комплексного анализа, КНП Богучанской ГЭС находится в проектном состоянии. И в процессе наполнения водохранилища, и при дальнейшей эксплуатации сооружения в проектных отметках УВБ каких-либо признаков фильтрации через диафрагму или узел сопряжения не зафиксировано. Также результатами наблюдений подтверждается и эффективность цементационной завесы в основании КНП. Все количественные и качественные диагностические показатели состояния сооружения не превышают критериальных значений К1. Специалистами станции и специалистами научно-исследовательских организаций (АО «Институт Гидропроект», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»), техническое состояние каменно-набросной плотины оценивается как исправное.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации КНП Богучанской ГЭС подтвердил правомерность названия грунтовых плотин с диафрагмой из литого асфальтобетона – «плотины сибирского типа». Данным плотинам характерна высокая эффективность, надежность и экономичность, вот почему они должны быть шире востребованы проектной и строительной практикой.

Научный руководитель: Заместитель начальника лаборатории гидротехнических сооружений ПАО «Богучанская ГЭС», Н.Д. Музыка

Литература:

1. Вайнберг А.И. Новая конструкция высокой каменно-набросной плотины с асфальтобетонной диафрагмой в суровых климатических условиях / Вайнберг А.И., Ландау Ю.А.// Гидротехническое строительство. – 2015. - №1. – С. 13-23.

2. Wang Weibiac. Developments in the dosing and constructions of asphalt core dam/Wang Weibiac, K.Hoeg //Hydropower and Dams. - 2010.- №3. – P.83-90.

3. Заирова В.А. Выбор противофильтрационного устройства в вариантах плотин Канкунского гидроузла / Заирова В.А., Филиппова Е.А., Орищук Р.Н., Созинов А.Д., Радченко С.В.// Гидротехническое строительство. – 2010. - №2. – С. 8 – 13.

4. Дымант А.Н. Литые асфальтобетонные диафрагмы грунтовых плотин / А.Н. Дымант, Е.И. Кузнецов, В.С. Прокопович // Гидротехническое строительство. – 2011. – №9. – С. 47-53.

К.С. Кондратьева, Р.Б. Шабаев
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета
kks1505@yandex.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Электроэнергетика является основой научно-технического прогресса, оказывает влияние на все главенствующие отрасли производства страны, от нее зависит улучшение производительность труда в этих отраслях. В широком смысле электроэнергетика – это отрасль в промышленности, которая отвечает за производство, распределение, передачу, продажу именно электрической энергии, а также помогающая обеспечению электрификации нужд населения.

Данная сфера имеет ряд преимуществ, во-первых, легкая транспортировка на большие расстояния, во-вторых, быстрое распределение между потребителями, в-третьих, может превращаться в энергию механическую, световую и химическую.

Для преобразования одного вида энергии в другой существуют электростанции, где сама переработка энергии происходит несколькими способами:

1) На тепловых электростанциях тепловая энергия становится электрической.

2) Ядерная энергетика в период расщепления в реакторе атомного ядра, помогает вырабатываться электроэнергии.

3) Из энергии воды гидроэлектростанции могут вырабатывать гидроэнергетику, в процессе преобразования энергии в электрическую. С этой целью строят плотины, где создается искусственный перепад

воды, посредством этого вода направляется в специальные протоки к лопастям водяных турбин, затем раскручивает эти турбины.

В двадцать первом веке активно развивается альтернативная энергетика. Альтернативная энергетика – это все нетрадиционные способы получения, передачи, а также использования энергии. Под альтернативными источниками понимаются возобновляемые ресурсы такие как: солнечный свет, ветер, вода. Сегодня большим спросом пользуются солнечные батареи, которые вырабатывают энергию за счет солнечного света. Что весьма экономично в быту. Такой альтернативный источник способен обогреть полноценный загородный дом.

В современном мире энергетика основа развития базовых отраслей промышленности, которые определяют прогресс общественного производства. Нельзя не отметить то, что темпы развития энергетики значительно опережают темпы развития других отраслей стран.

Основная особенностью электроэнергетики заключается в том, что ее продукция не может накапливаться для последующего использования, а значит потребление соответствует производству электроэнергии как по размерам, с учетом потерь, так и во времени.

Жизнь без электроэнергии невозможна, электроэнергетика прослеживается во всех сферах человеческой деятельности будь то промышленность, сельское хозяйство, наука и даже космос. Такое обширное распространение можно объяснить специфическими свойствами электроэнергетики, в первую очередь, возможностью превращаться практически во все другие виды энергии, например, механическую, тепловую, звуковую, световую и прочие. А также способность без особых усилий передаваться на огромные расстояния и в больших количествах, способностью к дроблению энергии, изменения ее параметров напряжения, частоты.

В промышленности электрическая энергия широко применяется как для приведения в действие различных механизмов, так и непосредственно в технологических процессах. Работа любых средств связи: телефона, радио, телевидения, а также развитие вычислительной техники, кибернетики основывается на применении электроэнергии.

Важную роль в транспортной промышленности играет электроэнергия. Электротранспорт не оказывает значительного негативного влияния на окружающую среду. Большое количество электроэнергии потребляет электрифицированный железнодорожный транспорт, что позволяет повышать пропускную способность дорог за счет увеличения скорости движения поездов, снижать себестоимость

перевозок, повышать экономию топлива. Электроэнергия в быту является основной частью обеспечения комфортабельной жизни людей.

Однако, энергетика является одним из источников неблагоприятного воздействия на человека и окружающую среду, оказывая влияние на атмосферу, гидросферу, биосферу, литосферу. Многочисленные данные, свидетельствуют о сильнейшем давлении на климатическую систему, развитие электроэнергетики грозит глобальной катастрофой, чтобы этого избежать необходимо начать контролировать рост энергопотребления.

Таким образом, отрасль электроэнергетики является неотъемлемой частью жизнедеятельности человека, а уровень ее развития отражает уровень развития производительных сил общества, а также возможности научно-технического прогресса.

Научный руководитель: к.п.н. Шабаев Р.Б.

Литература:

1. Акулов А.В. Анализ концепции реформирования электроэнергетики России / А.В. Акулов // ЭКО - 2005. - №6. - с. 69-78
2. Бабушкин В.М., Нейман В.А., Чевычелов В.А. Электрические сети: развитие, новые решения. – ЦТИ «Энергетика и электрификация», 2002. – С. 166.
3. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2013. - 412 с.

Н.А. Краева, Д.Е. Бахмисов, А.С. Угодин, А.А. Смолярская
Братский государственный университет, г.Братск
feia@brstu.ru

ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА БАЗЕ ЗАМКНУТОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

На сегодняшний день в мире очень остро стоит проблема облучённого ядерного топлива (ОЯТ). ОЯТ является радиоактивным и требует особых мер предосторожности при хранении и удалении в отходы. Его можно переработать, отделив продукты деления от

остатков урана и плутония, которые повторно могут служить ядерным топливом.

В настоящее время имеется два основных промышленно реализованных варианта обращения с отработавшим топливом:

1) однократный цикл, при котором топливо используется только один раз, после чего утилизируется как отходы;

2) цикл с частичным повторным использованием, при котором ОЯТ перерабатывается с извлечением урана и плутония для их дожигания в реакторах, благодаря чему обеспечивается частичное замыкание топливного цикла.

Частичное повторное использование ядерных материалов сокращает объемы ОЯТ, одновременно снижая потребность в природном уране. Однако даже при замыкании топливного цикла процесс не будет полностью безотходен, и для долгоживущих продуктов деления и отходов переработки ОЯТ по-прежнему будет необходимо геологическое хранилище.

На сегодняшний день перерабатывающие заводы находятся во Франции, Индии, Японии, Российской Федерации и Великобритании; опытно-промышленные установки небольшой мощности имеются также в Китае. В той или иной форме переработку ОЯТ осуществляли или осуществляют Бельгия, Франция, Германия, Индия, Япония, Нидерланды, Великобритания, Швейцария и Российская Федерация.

Общемировая мощность установок по переработке отработавшего топлива составляет более 5500 т тяжелого металла (ТМ) в год. Из указанной установленной мощности реально используется приблизительно 3000 т ТМ/год. Поскольку количество ежегодно выгружаемого из реакторов ОЯТ составляет около 10500 т ТМ уже на протяжении нескольких лет, то очевидно, что в настоящее время перерабатывается лишь около 30% отработавшего топлива.

Тем не менее, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по совершенствованию методов разделения в последнее десятилетие продолжались в целом ряде стран, в том числе в Северной Америке (Канаде и США), Европе (Франции, Великобритании и других странах ЕС), Азии (Китае, Индии, Японии, Южной Корее) и России. Проводимые исследования можно разделить на следующие основные категории:

1) усовершенствование ПУРЕКС-процесса (технологический процесс переработки облучённого ядерного топлива);

2) разработка альтернативных водных (гидрометаллургических) технологий извлечения урана;

3) усовершенствование гидрометаллургических технологий извлечения минорных актинидов (америция, кюрия);

4) разработка гидрометаллургических технологий извлечения продуктов деления для обращения с ними как с радиоактивными отходами (РАО);

5) использование пирохимических методов извлечения урана и трансурановых элементов.

Применяемые в настоящее время методы переработки и рециклирования обеспечивают некоторое сокращение объемов высокоактивных РАО, подлежащих захоронению, благодаря извлечению из них урана и плутония, с включением минорных актинидов и продуктов деления в состав потока отходов. Дальнейшее уменьшение объема отходов зависит, таким образом, от возможности либо дальнейшего выделения долгоживущих тяжелых изотопов из состава облученного топлива при помощи более совершенных технологий переработки (разделения) с их последующей утилизацией, что снижает долгосрочную радиотоксичность и остаточное тепловыделение основного массива отходов, но не выделенного высокоактивного потока, либо их выжигания в результате ядерных реакций (трансмутации).

Полное замыкание ядерного топливного цикла (ЯТЦ) на основе воспроизводящих быстрых реакторов могло бы значительно снизить спрос на природный уран, увеличив срок эксплуатации урановых запасов, и одновременно минимизировать объемы отходов. Однако в странах с развитой ядерно-энергетической инфраструктурой и промышленностью переход от систем на тепловых нейтронах к быстрым потребует выполнения масштабных работ по адаптации и вводу в эксплуатацию новых объектов.

Вопрос о замыкании ЯТЦ был поставлен уже в начальный период развития атомной энергетики. А сейчас тем более стало ясно, что без замыкания топливного цикла, запасов урана хватит не более чем на 100 лет. Замыкание ЯТЦ позволяет вовлечь в работу дополнительный делящийся материал – плутоний, который получается из «балластного» изотопа урана-238 (99,3% в природном уране), что позволяет эффективно использовать весь природный уран, тогда как в освоенной атомной энергетике используется лишь природный делящийся материал – изотоп уран-235 (~0,7% в природном уране). Но проблема стоит в том, что замкнутый топливный цикл сложнее, чем открытый [1].

Россия взялась за то, чего никто в мире еще не смог реализовать. Речь идет о «новой конкурентоспособной и коммерчески оправданной

атомной энергетике, в которой исключены тяжелые аварии, вместо 0,7% используется полный энергетический потенциал урана, решена проблема накопления ОЯТ и захоронения ВАО, технологически усилен режим нераспространения» [2].

Росатом с 2011 года реализует на ОАО "Сибирском химическом комбинате" (СХК, входит в Топливную компанию "Росатома" ТВЭЛ) проект "Прорыв" по созданию новейшего топлива, на котором атомная энергетика будет работать после 2020 года. Реализация "Прорыва" включает создание опытно-демонстрационного энергокомплекса в составе реактора БРЕСТ-ОД-300 с пристанционным ядерным топливным циклом и модуля по производству плотного уран-плутониевого (нитридного) топлива для реакторов на быстрых нейтронах. Для реактора "БРЕСТ-ОД-300" в качестве жидкометаллического теплоносителя выбран свинец [3].

Основные положения проекта:

1. Исключение тяжелых аварий АЭС, требующих эвакуации населения;

2. Замыкание ядерного топливного цикла для полного использования энергетического потенциала уранового сырья;

3. Последовательное приближение к радиационно-эквивалентному захоронению РАО (захоронению будут подлежать отходы с той же радиоактивностью, что и извлеченное ранее из недр сырье);

4. Технологическое усиление нераспространения ядерного оружия (новые реакторы не могут использоваться для его производства);

5. Приведение капитальных затрат при сооружении АЭС с быстрыми реакторами, по крайней мере, до уровня АЭС старого образца;

6. Обеспечение конкурентоспособности ядерной энергетики в сравнении с другими видами энергогенерации;

7. Обеспечение масштабного развития ядерной энергетики России к концу столетия до 350 ГВт на существующей минеральной ресурсной базе (фактически, создается база для крупномасштабной ядерной энергетики);

8. Переработка ОЯТ, включая накопленные тепловыми реакторами объемы (в России только 2% ОЯТ пускаются в переработку, отходы от старых реакторов непрерывно накапливаются, а расходы на их хранение постоянно растут, растет и экологическая угроза от них. Сжигание плутония и других радиоактивных элементов в реакторах нового типа дает предпосылки для окончательного

решения проблемы радиоактивных отходов и создает условия для более безопасной жизни).

Технология новых АЭС будет предусматривать так называемое радиационно-эквивалентное обращение ядерных материалов в топливном цикле, что в частности означает, что в течение примерно 150-300 лет переработанное топливо будет хранится в специальных хранилищах. За это время биологическая опасность будет снижена в 100 раз [4]. Для спекания топливных таблеток в проекте будут использоваться вольфрамовые тигли, что позволит в несколько раз повысить производительность, а также качество топлива.

СХК самостоятельно освоил сборку экспериментальных тепловыделяющих сборок с новым топливом, в том числе и для реактора "БРЕСТ-ОД-300" [5]. Уникальное для мировой промышленной фабрикации ядерного топлива оборудование предназначено для изготовления смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топлива), производство которого создаётся на промышленной площадке АО «СХК» в ЗАТО Северск Томской области. Не имеющий аналогов в мире комплекс карботермического синтеза нитридов (КТС) включает в себя шесть высокотемпературных печей толкательного типа, связанных между собой и внешними накопительными модулями транспортной системой. Карботермический синтез нитридного топлива основан на восстановлении диоксидов урана и плутония углеродом в потоке азота. Уникальными особенностями комплекса являются: полная автоматизация технологического процесса, набор технических блокировок и ограничений, обеспечивающих качество производимого топлива при невозможности радиационных и ядерных аварий, ремонтопригодность оборудования в условиях повышенных радиационных полей при переработке рефабрицированного топлива [6].

На данный момент в стадии разработки находится автоматизированная система контроля и управления модуля фабрикации-рефабрикации (АСКУ МФР) СНУП-топлива. АСКУ МФР будет включать в себя автоматизированные системы радиационного контроля, аварийной сигнализации, обращения с радиоактивными отходами, рецептурным производством ядерного топлива, управления технологией производства и инженерными системами. Основная задача АСКУ МФР – обеспечение безопасной и надежной работы персонала и технологического оборудования во всех режимах эксплуатации. Одновременно, внедрение системы позволит быстрее и эффективнее контролировать параметры технологических процессов

для оптимизации работы оборудования и повышения производительности модуля [7].

Лишь частичное или полное замыкание топливного цикла может обеспечить устойчивое развитие атомной энергетики. «Прорыв» позволит сохранить природный потенциал уранового сырья, что говорит о пользе данного проекта. В скором времени закончится строительство нового ядерного энергокомплекса под Томском, и можно будет увидеть результаты проекта, которые на основании изученной информации должны открыть широкие перспективы и возможности в области атомной энергетики.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.Н. Яковкина

Литература:

1. Кузнецов М. С., Монгуш С. А., Чуйкина А. В. Преимущества тория в ЯТЦ // Молодой ученый. — 2015. — №10. — С. 40-44. — URL https://moluch.ru/archive/90/18996/
2. Васильев Б. А. "Прорыв" на тысячелетия вперед. "Атомный проект", №12, 2012. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.okbm.nnov.ru/russian/ publications/360-breakthrough
2. Сейсмоизыскания для атомного проекта "Прорыв" выполнят в 2015 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://ria.ru/atomtec/20140820/1020722126.html
3. О проекте «ПРОРЫВ» // Инновации Росатома. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.innov-rosatom.ru/events/proriv/
4. СХК перейдет на свои тигли для изготовления топлива для "Прорыва" // Портал Росатома. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rosatom.ru/journalist/ smi-about-industry/skhk-pereydet-na-svoi-tigli-dlya-izgotovleniya-topliva-dlya-proryva-299/?sphrase_id=311609
5. Росатом успешно испытал оборудование по фабрикации топлива для опытно-демонстрационного энергетического комплекса в рамках проекта «Прорыв» // Портал Росатома. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rosatom.ru/journalist/news/rosatom-uspeshno-ispytal-oborudovanie-po-fabrikatsii-topliva-dlya-opytno-demonstratsionnogo-energeti/?sphrase_id=311609
6. АО «РАСУ» обеспечит безопасность работы уникального оборудования в рамках проекта «Прорыв» // Портал Росатома. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rosatom.ru/journalist/news/ao-rasu-obespechit-bezopasnost-raboty-unikalnogo-oborudovaniya-v-ramkakh-proekta-proryv/?sphrase_id=311609

К.А. Куприна
Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета
г. Черёмушки
kristinka22.10.1994@mail.ru

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ОТКРЫТОГО РАСПРЕДИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА 220 кВ НА ПРИМЕРЕ УГЛИЧСКОЙ ГЭС

Многие гидроэлектростанции, входящие в состав ПАО «РусГидро», были введены в эксплуатацию еще в прошлом веке. Оборудование таких ГЭС в значительной мере физически изношено и морально устарело, в связи, с чем нуждается в реконструкции и замене. В полной мере это относится и к оборудованию схем выдачи мощности станций — силовым трансформаторам, кабелям, высоковольтным вводам, выключателям и другому оборудованию распределительных устройств.

Замена оборудования позволит повысить надёжность и качество его работы, сократить затраты на эксплуатацию и ремонт, повысить пожарную и экологическую безопасность (за счёт отказа от маслонаполненного оборудования).

В настоящее время в мире энергетики все чаще обращаются к мысли эксплуатации не ОРУ, которые по типу своему занимают достаточно большие территории в зависимости от класса напряжения, а КРУЭ, что по природе своей размещаются достаточно экономично и близко к центру нагрузок, что улучшает качество регулирования напряжения.

Поэтому в ходе работы будет определено, как провести реконструкцию: с сохранением конструктивного исполнения и компоновки, либо провести замену ОРУ 220 кВ на КРУЭ 220 кВ.

Замена устаревшего оборудования открытых распределительных устройств на современные КРУЭ – один из приоритетов программы комплексной модернизации РусГидро. Новые распределительные устройства уже работают на Саяно-Шушенской, Воткинской, Баксанской ГЭС, Загорской ГАЭС. Ведется монтаж КРУЭ на Зеленчукской ГЭС, закуплено и готовится к установке элегазовое оборудование для 8 ГЭС и ГАЭС Кубанского каскада.

Краткое описание существующего положения Угличской ГЭС: площадка строительства – действующее ОРУ 220 кВ; год ввода оборудования в эксплуатацию: 1940 – 2015гг.

Основные технико-экономические параметры существующего оборудования: напряжение 220кВ, количество присоединений – 10

(пять транзитных воздушных линий 220 кВ, два повышающих трансформатора генераторов, шинный секционный выключатель, трансформатор напряжения и ограничители перенапряжения), пропускной ток – 600А. ОРУ 220 кВ выполнено по схеме с двумя системами сборных шин с ШСВ без обходной с фиксированным присоединением цепей.

На распределительном устройстве 220кВ установлено следующее оборудование:

- линейные выключатели Siemens 3AP1 FG – 245EK 220-40/2000Y1 колонковые трехполюсные компрессионные для наружной установки с элегазовой изоляцией и дугогасящей средой (в эксплуатации с 2003 года);
- трансформаторные и шиносоединительный выключатели Siemens 3AP1 DT – 245EK 220-50/3150Y1 баковые трехполюсные компрессионные для наружной установки с элегазовой изоляцией и дугогасящей средой (в эксплуатации с 2004 года);
- линейные и шинные разъединители РНДЗ.1(2) -220/1000 с ручным приводом и электромеханической блокировкой системы Гинодман (в эксплуатации с 1970 года, в 2007-2014 заменена фарфоровая опорно-стержневая изоляция на полимерную);
- ограничители перенапряжения систем шин ОПН-220 УХЛ1 (в эксплуатации с 1998 года, в цепи трансформаторов на стороне ВН установлены ограничители перенапряжений PEXLIM-Q-192-XH245, в эксплуатации с 2008 года);
- трансформаторы напряжения систем шин емкостные типа VCU-245 (в эксплуатации с 2013 года, контрольный кабель цепей защит до здания ГЭС бронированный, в эксплуатации с 1940года);
- трансформаторы тока ТФЗМ-220Б-111-Р/0.5-1000 – 4 комплекта (в эксплуатации с 1998 года), Siemens SAS 245/2G – 1 комплект (в эксплуатации с 2006 года);
- конденсаторы связи СМ-110/√3-6.4У1, введены в эксплуатацию в 2006-2009 годах;
- ВЧ заградители DLTC 1000/0.5 МЭК1, введены в эксплуатацию в 2008-2009 годах;
- шкаф распределительный постоянного тока для питания электродвигателей приводов выключателей (введен в эксплуатацию в 2009 году);
- низковольтные распределительные и осветительные щиты, эксплуатируемые с 1940 г (часть щитов заменена в 2014 году);
- осветительное оборудование в составе щитков осветительных с автоматическими выключателями и светильников светодиодных на

порталах трансформаторов и прожекторов с натриевыми лампами (в эксплуатации с 2012 года);

- порталы металлические, сварные, установлены на бетонных фундаментах (в эксплуатации с 1940 года);

- ошиновка оборудования ОРУ и систем шин выполнена медным проводом М300 и сталеалюминевым марки АС-400. Подвесная изоляция фарфоровая. В 2004 г. подвесная изоляция 2 СШ и части ошиновки присоединений заменена на стеклянную. В 2015 г подвесная изоляция 1 СШ заменена на стеклянную.

Рассмотрим два варианта: существующее положение ОРУ 220 кВ с заменой оборудования и КРУЭ 220 кВ.

Сравнение вариантов по ориентировочным оценкам показало, что вариант КРУЭ примерно в 1,6 раза дороже, чем вариант ОРУ. Однако вариант с применением элегазового распредустройства имеет ряд существенных преимуществ:

- Весьма небольшая занимаемая площадь;
- Высокая безопасность для персонала;
- Большая надежность ячеек РУ и отдельных видов оборудования;
- Опыт безаварийной эксплуатации и, потому, коммерческая гарантия изготовителя до трех лет, при технически гарантированном сроке эксплуатации не менее 50 лет;
- Сокращение эксплуатационных издержек;
- Отсутствие влияния условий окружающей среды;
- Отсутствие необходимости вскрытия газового отсека после каждого отключения тока К.З. и замера сопротивления главных контактов;
- Практически необслуживаемая подстанция;
- Минимальные перерывы в электроснабжении потребителей при реконструкции;
- Повышенная безопасность доступа;
- Максимальная готовность к пуску в эксплуатацию;
- Сейсмостойкость РУ.

Недостатки по варианту применения КРУЭ 220 кВ:

- Дороже, чем замена оборудования на действующем ОРУ 220 кВ;
- Относительно высокая стоимость элегаза;
- Ограничение нижних рабочих температур окружающего воздуха, что приводит к необходимости установки КРУЭ в закрытых помещениях.

Причиной ограничения нижних температур является сжижение элегаза при -30°С и ухудшение его изоляционных и дугогасительных свойств.

- Необходимость построения нового здания удовлетворяющего условиям, описанным ниже.

Здание должно обладать значительными размерами зала КРУЭ. Кроме того необходимо учитывать требования норм технологического проектирования для прохода между полюсов ячеек (4 м — для РУ 220 кВ). Необходима установка крана грузоподъемностью не менее веса наиболее тяжелой части КРУЭ, возникнут большие нагрузки на обогрев (один только проем для ячеек КРУЭ необходимо обдувать мощными тепловыми завесами), большие нагрузки на вентиляцию (плюс аварийная вентиляция в случае утечки элегаза).

Особые требования предъявляются к контуру заземления. Как правило предусматривается ВЧ сетка из арматуры в полу под КРУЭ и сетка из полосы (чаще всего медной) в чистовом полу, объединяющее все оборудование КРУЭ. К КРУЭ линии подключаются высоковольтным кабелем. Поэтому необходимо организовывать под залом КРУЭ кабельный полуэтаж для вывода кабельных линий.

Высокая заводская готовность КРУЭ - одно из достоинств, которое требует в то же время тесной работы с заводом и смежниками, выполняющими строительную часть. Пол в зале КРУЭ должен быть идеально ровным, а некоторые производители требуют наличие закладных для оборудования. Кроме этого, множество контрольных кабелей поставляются комплектно с оборудованием КРУЭ и не требуется организация такого кабельного хозяйства как, например, на открытой части.

Вариант, предполагающий замену оборудования на существующем ОРУ 220 кВ имеет недостатки:

- Значительный период времени, необходимый для замены оборудования и выполнения строительных работ – при наличии напряжения на соседних ячейках и группах оборудования в данной ячейке;

- Необходимость постоянного присутствия дежурного персонала из-за удаленности ОРУ;

- Необходимость организации охранных мероприятий на удаленном объекте.

Анализ вариантов реконструкции ОРУ 220 кВ показал, что КРУЭ все больше применяются при строительстве и реконструкциях подстанций в настоящее время. Однако по-прежнему предпочтения отдаются традиционным открытым исполнениям РУ, особенно, если речь идет о реконструируемых существующих, даже не смотря на то, что это не удовлетворяет современным тенденциям технической политики ПАО «РусГидро». Связано это, прежде всего с тем, что

подстанции находятся вне населенного пункта, где нет ограничений по занимаемой площади, с ценой оборудования КРУЭ и с тем, что основные производители КРУЭ находятся за рубежом. Отечественная промышленность только осваивает производство комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией и не достигла той надежности и компактности.

Поэтому на основе всего вышесказанного, конкретно для Угличской ГЭС, вариант с применением КРУЭ 220 кВ – исключаем.

Техническое перевооружение ОРУ-220 кВ предусматривается в несколько этапов.

Первый этап выполняется в следующем объёме:

1. Замена шинных разъединителей I СШ на разъединители горизонтально-поворотного типа с электродвигательными приводами ПД—14 с двумя заземляющими ножами в ячейках №1 - №10.

2. Замена ОПН I СШ 220 кВ на ограничители перенапряжений в полимерных покрышках ОПНп – 220 УХЛ1.

3. Замена ошиновки и спусков I СШ.

Второй этап выполняется в следующем объёме:

1. Замена шинных разъединителей II СШ на разъединители горизонтально-поворотного типа с электродвигательными приводами ПД—14 с двумя заземляющими ножами в ячейках №1 - №10.

2. Замена линейных разъединителей II СШ на разъединители горизонтально-поворотного типа с электродвигательными приводами ПД—14 с двумя заземляющими ножами в ячейках №3, №6 - №9

3. Замена ТТ 220 кВ на трансформаторы тока с элегазовой изоляцией ТГФМ – 220 УХЛ1 в ячейках №3, №6, №8, №9.

4. Замена ОПН II СШ 220 кВ на ограничители перенапряжений в полимерных покрышках ОПНп – 220 УХЛ1.

5. Замена ошиновки и спусков II СШ.

Предусматривается замена контура заземления, молниезащиты и строительной части под проектируемое оборудование.

Научный руководитель: инженер 2 категории ПТГ ПТС
А.И.Баранов

Литература:

1. СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ (ПТЭ).

2. СО 153-34.20.120-2003 Правила устройства электроустановок.

3. Романов А.А. Техническое перевооружение электроэнергетики. Необходимость и проблемы // Техническое перевооружение и ремонт энергетических объектов / Под ред. В.В. Барило. М.: ИПКгосслужбы, ВИПКэнерго, 2002. - С. 10 - 18.

Н.С. Лагунова
Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск
nata.lagunova2015@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА КОНТАКТНОЙ СЕТИ МЕТОДОМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ У ПОСТА СЕКЦИОНИРОВАНИЯ

Введение. При уже образовавшемся гололеде на проводах контактной сети (КС) осуществляется его плавка путем искусственного повышения тока КС до величины, при которой выделяемой в проводах теплоты достаточно для удаления гололедно-изморозевых отложений [1–4].

Большая результативность тепловых способов борьбы с гололедом может быть достигнута путем создания методик планирования режимов подогрева и плавки, основанных на компьютерном моделировании. Такое моделирование можно реализовать с использованием методов определения режимов систем тягового электроснабжения в фазных координатах, разработанных в Иркутском государственном университете путей сообщения [5–7].

Результаты моделирования. Для правки гололеда могут применяться режимы искусственного замыкания контактного провода на рельс (рис. 1). Согласно [3] при использовании таких режимов движение поездов по участку прекращается.

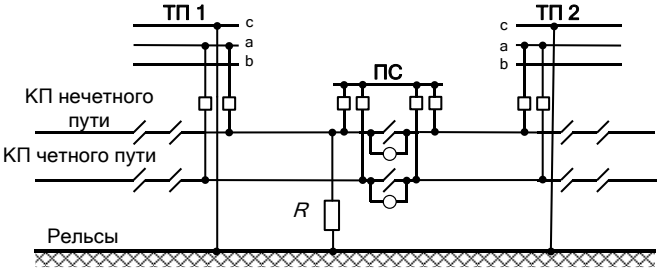


Рис. 1. Схема плавки гололеда методом короткого замыкания у поста секционирования

Ниже рассматривается режимы плавки гололеда при искусственных коротких замыканиях (КЗ) у поста секционирования (ПС). Для ограничения тока КЗ используется резистор *R*.

Для оценки применимости такого подхода проведено моделирования режимов искусственных замыканий применительно типовой схеме тягового электроснабжения, включающей две межподстанционные зоны (МПЗ). Моделирование осуществлялось на основе комплекса программ Fazonord [5, 6]. Схема содержала три тяговых подстанции с трансформаторами ТДТНЖ–40000–220–27,5. Длина каждой МПЗ равнялась 40 км. Расстояние от ТП1 до ПС составляет 20 км. Контактная подвеска принята типа М–120+МФ–100. Моделировалось движение двух грузовых поездов массой 4084 тонн в четном направлении по второй МПЗ.

Рассматривалась плавка гололеда методом короткого замыкания с включением в цепь КЗ токоограничивающего сопротивления R = 10 Ом. Температура окружающей среды $t_{окр}$ = –5 ºС.

Моделирование проведено с помощью комплекса программ Fazonord, разработанного в ИрГУПСе [5]. Фрагмент схемы расчетной модели представлена на рис. 3. Результаты моделирования сведены в табл. 1 и проиллюстрированы на рис. 3, 4.

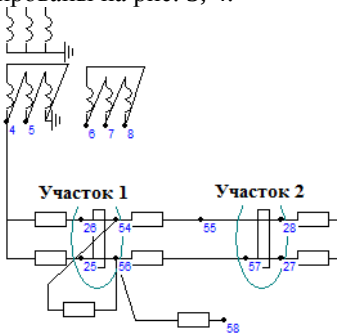


Рис. 2. Фрагмент схемы расчетной модели

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемая методика моделирования искусственных коротких замыканий дает информацию, необходимую для адекватного планирования режимов плавки гололеда.

2. По результатам моделирования с использованием методики [2] может быть определено время плавки.

3. Результаты моделирования позволяют проанализировать влияние КЗ на соседние участки контактной подвески.

Таблица 1 – Максимумы токов проводов участка 1, А

Путь, тип провода	Место измерения	Мгновенное значение	Интервал осреднения		
			1 мин	3 мин	20 мин
Нечетный путь, КП	Начало провода	610	610	556	495
	Конец провода	465	465	459	455
Нечетный путь, НТ	Начало провода	587	587	533	473
	Конец провода	441	441	436	432
Четный путь, КП	Начало провода	465	465	459	455
	Конец провода	465	465	459	455
Четный путь, НТ	Начало провода	441	441	436	431
	Конец провода	441	441	436	432

Таблица 2 – Максимумы токов проводов участка 2, А

Путь, тип провода	Место измерения	Мгновенное значение	Интервал осреднения		
			1 мин	3 мин	20 мин
Нечетный путь, КП	Начало провода	483	483	473	458
	Конец провода	575	575	520	481
Нечетный путь, НТ	Начало провода	458	458	449	435
	Конец провода	551	551	497	457
Четный путь, КП	Начало провода	482	482	472	460
	Конец провода	482	482	472	461
Четный путь, НТ	Начало провода	457	457	448	438
	Конец провода	457	457	448	437

Примечание: КП – контактный провод; НТ – несущий трос

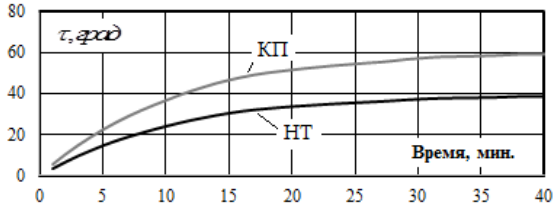


Рис. 3. Нагрев проводов на участке – нечетный путь

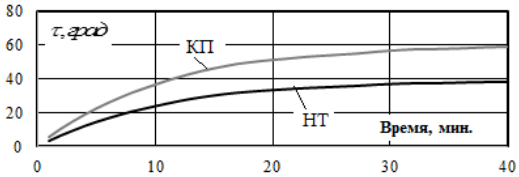


Рис. 4. Нагрев проводов на участке – четный путь

Заключение. Предложенная методика может применяться для решения практических задач, возникающих при эксплуатации систем тягового электроснабжения и связанных с планированием режимов плавки гололеда.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, академик Российской академии транспорта, член-корр. Российской инженерной академии, заслуженный энергетик РБ А.В. Крюков

Литература:

1. Григорьев В.Л., Игнатьев В.В. Тепловые процессы в устройствах тягового электроснабжения. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. 182 с.

2. Методические указания по борьбе с гололедом и автоколебаниями на контактной сети, линиях ДПР, автоблокировки и продольного электроснабжения. Кн. 1. М. 2004. 105 с.

3. Методические указания по борьбе с гололедом и автоколебаниями на контактной сети, линиях ДПР, автоблокировки и продольного электроснабжения. Кн. 3. М. 2004. 76 с.

4. Закарюкин В.П., Крюков А. В., Лагунова Н.С. Моделирование режимов плавки гололеда в тяговых сетях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 2(54). 2017. С. 167-174.

5. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. 273 с.

6. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск: изд-во Иркут. гос. ун-та путей сообщения. 2011. 160 с.

7. Моделирование аварийных режимов в системах электроснабжения железных дорог / Е. А. Алексеенко, Ю. Н. Булатов, В. П. Закарюкин, А. В. Крюков ; под общ. ред. А. В. Крюкова. М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. 169 с.

В.А. Лебедева, Д.С. Дружинина, Х.М. Майдонов,
А.В. Мисюркеев, Е.С. Слепцов
Братский государственный университет, г.Братск
feia@brstu.ru

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВСЕСТИМОСТЬ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Устройства релейной защиты и автоматики (РЗиА) являются одним из основных компонентов, обеспечивающих надежную и безопасную работу электрических станций, подстанций и электрических сетей. Основной тенденцией развития РЗиА является использование микропроцессорных терминалов (МП). Наиболее часто используются МП терминалы производства: Siemens, Schneider Electric, Areva, ABB. Наряду с ними спросом пользуются отечественные компании: Бреслер, Механотроника, Радиус Автоматика [2]. Анализ годовых отчетов ЦСЗ "Мосэнерго" и других энергосистем позволяет выделить три основные причины сбоев в работе МП РЗиА[3]:

1. Неправильные действия персонала;
2. Неисправность РЗиА;
3. Недостаточная электромагнитная совместимость (ЭМС).

Достаточно большое количество отказов по причине ЭМС вызвано тем, что большая часть оборудования релейной защиты и автоматики на электрических станциях заменяется с электромеханической базы на микропроцессорную. Устройства МП РЗиА обладают более высокой чувствительностью к электромагнитным помехам, чем их ранние аналоги.

Не все микропроцессорные устройства защиты с точки зрения помехозащищенности соответствуют требованиям РД 34.35.310-97 (Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем) по степени жесткости испытаний к отдельным видам помех с сохранением качества функционирования. А по ГОСТ Р 50746 (нормальное функционирование без сбоев) вообще такие испытания не проводятся. Импортные микропроцессорные устройства релейной зашиты и электроавтоматики не соответствуют требованиям по устойчивости к прерыванию напряжения питания в течение 0,5 с (степень жесткости 4 по ГОСТ Р 51317.4.11). Они устойчивы к прерыванию напряжения питания только от 10 до 100 мс (степень жесткости 2), что может приводить к временному сбою в работе защит, прерыванию записей осциллограмм и другим

временным нарушениям в выполнении основных и вспомогательных функций. Также микропроцессорные устройства РЗиА не испытываются на устойчивость к импульсным магнитным полям, хотя они могут подвергаться их воздействию при возникновении ударных токов КЗ в КРУ 6-35 кВ или при ударах молнии в здание подстанции[2].

Однако за рубежом существуют решения, которые позволяют снизить действие ЭМС на микропроцессорное оборудование. У этих решений много плюсов с точки зрения защиты оборудования, систем автоматики и телемеханики от импульсных токов и перенапряжений. Например, вторичные кабели на зарубежных подстанциях (ПС) прокладываются ниже поверхности земли, как правило в кабель-каналах, а на российских – в лотках на поверхности земли. Вторичные цепи на зарубежных объектах экранированы с коэффициентом не менее 20, а в РФ – с коэффициентом экранирования 6–10. В отличие от зарубежных объектов, в РФ силовые и контрольные кабели большей частью прокладываются совместно, а не раздельно. С начала применения современных МП устройств РЗиА контрольные кабели применяются с экраном. В то же время кабели оперативного постоянного тока и собственных нужд, проложенные в распредустройстве, не экранированы. На зарубежных ПС заземляющее устройство выполняется из меди, а в России – из стали. Существенно отличается и система уравнивания потенциалов. Заземление экранов кабелей на большинстве российских объектов выполнено так, что не обеспечивается нормальная работа МП РЗиА, хотя успех в обеспечении ЭМС примерно на 70% обусловлен качественным заземляющим устройством. Молниезащита практически на всех действующих энергообъектах в РФ не соответствует требованиям ЭМС. За рубежом молниезащита распредустройств выполняется в основном с помощью тросов, в России – стержневыми молниеотводами. Электромагнитная обстановка на станциях и ПС в РФ намного более жесткая, чем за рубежом, но экономия на мероприятиях, снижающих уровень электромагнитных воздействий, не позволяет полностью исключить вероятность неправильной работы [1].

Несмотря на изложенные выше сложности, связанные с эксплуатацией МП защит, все больше станций переходят с электромеханического оборудования на микропроцессорные устройства, что оставляет проблему ЭМС МП РЗиА актуальной.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.В. Струмеляк

Литература:

1. Бочаров Ю.Н. Территория РЗА // Новости Электротехники. – 2017. – №4(106).
2. Сушко В. Микропроцессорные защиты присоединений 6-35 кВ //Новости электротехники. – 2017. – №4(106).
3. Невнимание к проблеме ЭМС может обернуться катастрофой [Электронный ресурс]. – URL: http://www.vbrspb.ru/111/page114.html. – (дата обращения: 06.11.2017).

О.Д. Лисицкая
Братский г*осударственный университет, г. Братск*
curl787@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ И ФЛИКЕРА. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ НОРМАЛИЗАЦИИ

Известно, что колебания напряжения отрицательно сказываются на работе большого числа потребителей [1]. К числу приемников, чувствительных к ним, относятся станы непрерывной прокатки металлургических заводов. Также весьма чувствительными к колебаниям напряжения являются электролизные установки, у которых сокращается срок службы вследствие интенсивного износа анодов [2]. Кроме этого колебания напряжения оказывают заметное влияние на асинхронные двигатели небольшой мощности на производствах, предъявляющих повышенные требования к точности поддержания частоты вращения приводов асинхронных двигателей. Также колебания напряжения вызывают вибрации электродвигателей и связанных с ними механических конструкций и трубопроводной арматуры. Как показано в монографии [3], колебания напряжения приводят к снижению усталостной прочности металла, сокращая срок его службы. При этом уже при амплитудах небольшой частоты, в 2 раза превышающих допустимые уровни, срок службы трубопроводов вследствие пульсаций напора насосов может сокращаться на 5–7 %.

Колебания напряжения являются причиной возникновения фликера, который оказывает негативное влияние на работоспособность и здоровье человека [2]. Согласно [3] причиной возникновения фликера являются периодические или постоянные колебания напряжения, имеющие спектральный состав в диапазоне частот от 0,05 до 40 Гц, которые вызваны нагрузками, имеющими значительные колебания потребляемой мощности. К таким нагрузкам относятся

дуговые электропечи, сварочные машины и мощные нагрузки индукционного или емкостного типа, в частности двигатели, конденсаторные батареи и прочие.

Источником колебаний напряжения в сети является электрическое оборудование, имеющее циклические изменения тока [2], протекающего по полному сопротивлению сети $r+jx$, что и приводит к возникновению изменения падения напряжения ΔU (рис. 1).

При малых значениях угла между электродвижущей силой источника $\dot{E}$ и напряжением приемника электрической энергии $\dot{U}$, падение напряжения определяется как:

$$\Delta U = \dot{E} - \dot{U} = r \cdot I \cdot \cos\varphi + \mathrm{j}x \cdot I \cdot \sin\varphi, \qquad (1)$$

где $\cos\varphi$ - коэффициент мощности нагрузки; I - номинальный ток нагрузки; r - полное активное сопротивление питающей сети; x - полное реактивное сопротивление сети.

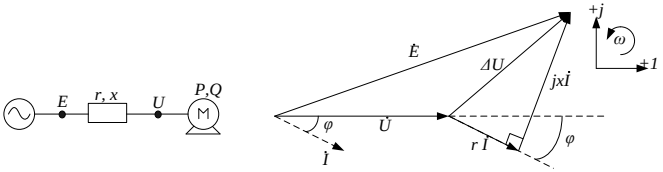


Рис. 1. Схема включения нагрузки через сопротивление сети и диаграмма векторов тока и напряжений

Согласно [3], для активной P и реактивной Q электрической нагрузки при номинальном напряжении U можно записать:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi; \qquad (2)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \qquad (3)$$

При этом продольная составляющая падения напряжения равна [2]:

$$\Delta U = \frac{r \cdot P + x \cdot Q}{U} \qquad (4)$$

Или в процентах от номинального напряжения:

$$\Delta U_{\%} = \frac{r \cdot P + x \cdot Q}{U^2} \cdot 100\% \qquad (5)$$

Поскольку величина активного сопротивления r в высоковольтных установках значительно меньше индуктивного сопротивления x, то для (5) можно записать [3]:

$$d = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\% \approx \frac{x \cdot Q}{U^2} \cdot 100\% = \frac{Q}{S_{кз}} \cdot 100\%, \qquad (6)$$

где $S_{кз}$ - мощность короткого замыкания (КЗ) источника питания, МВА.

С другой стороны, в низковольтных установках величина активного сопротивления r элементов обычно сопоставима со значением индуктивного x, поэтому в практических расчетах потерь напряжения в выражении (5) следует учитывать активную и реактивную составляющие мощности.

Выбор параметров мероприятий по нормализации фликера зависит от уровня колебаний напряжения [2], источниками которых, в большинстве случаев, являются потребители с резко-переменным режимом работы: управляемые вентильные преобразователи с широким диапазоном и большой скоростью регулирования напряжения, дуговые сталеплавильные печи, мощные сварочные агрегаты [3].

В настоящее время известно множество мероприятий по нормализации фликера [2-4], которые можно реализовать как на этапе проектирования, так и в ходе эксплуатации объекта.

К наиболее распространенным мероприятиям, выполняемым на этапе проектирования систем электроснабжения как в России так и за рубежом можно отнести:

а) Подключение к мощной системе электроснабжения [4].

В этом случае распространение колебаний напряжения в сторону системы электроснабжения происходит с затуханием по амплитуде, определяемой приближенно как [3]:

$$d \approx \frac{Q}{S_{кз}} \cdot 100\%, \qquad (7)$$

где Q – реактивная мощность, вар; $S_{кз}$ – мощность КЗ системы, ВА.

Данное мероприятие эквивалентно увеличению мощности КЗ системы $S_{кз}$.

б) Питание резкопеременой и спокойной нагрузок от разных источников, например, трансформаторов или секций шин [4].

Аналогичное схемное решение достигается также путем использования сдвоенных групповых реакторов или трансформаторов с расщепленной обмоткой.

В работах [2, 3] отмечается, что вариант применения сдвоенных реакторов является наиболее экономичным. Ограничение колебаний напряжения в этом случае достигается за счет взаимоиндукции,

которая позволяет уменьшить величину падение напряжения в каждой секции обмоток [3]:

$$\Delta\dot{U} = j \cdot x_L \cdot (\dot{I}_1 - k_M \cdot \dot{I}_2) = j \cdot x_L \cdot (\dot{I}_2 - k_M \cdot \dot{I}_1) \qquad (8)$$

где $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$ – ток нагрузки в первой и второй секциях соответственно, x_L – индуктивное сопротивление секции реактора k_M=0,5÷0,6 - коэффициент взаимоиндуктивной связи [2].

В идеальном случае, когда токи в плечах реактора равны, то есть $\dot{I}_1 = \dot{I}_2$, потери напряжения определяются как:

$$\Delta\dot{U} = \dot{I}_{1(2)} \cdot x_L \cdot (1 - k_M) \qquad (9)$$

В целом падение напряжения за счет взаимоиндуктивной связи уменьшается на 50÷60 %. Однако при неравенстве токов $\dot{I}_1 \neq \dot{I}_2$ уменьшение значения ΔU будет меньшим. Уровень колебаний напряжения зависит от сопротивления питающей сети до шин, к которым подключен реактор, поэтому применение подобных схем для подключения дуговых сталеплавильных печей и мощных электродвигателей позволяет обеспечить на шинах «спокойной» нагрузки колебания напряжения, которые не превышают уровень, нормируемый в [5].

В этих же монографии [2] для решения задачи уменьшения колебаний напряжения предлагается применение трансформаторов с расщепленными обмотками. При подключении к разным ветвям обмотки такого трансформатора «спокойной» и резкопеременной нагрузок, связь между значениями амплитуды относительных изменений напряжения соответствующих шинах $d^{\text{спок}}$ и $d^{\text{резкопер}}$ можно представить в виде:

$$d^{\text{спок}} = d^{\text{резкопер}} \cdot \frac{4 - k_{\text{расщ}}}{4 + k_{\text{расщ}}}, \qquad (10)$$

где $k_{\text{расщ}}$ – коэффициент расщепления, равный 3,34÷3,64 [3].

Основным достоинством трансформатора с расщепленной обмоткой является снижение колебаний напряжения на шинах спокойной нагрузки на 50÷60 % [2]. При неравномерной загрузке трансформаторов отмечается увеличение потерь напряжения ΔU [3].

Одним из возможных способов снижения таких потерь является уменьшение активного сопротивления питающего участка сети, которое достигается путем увеличения сечения проводников линии.

в) Применение устройств продольной компенсации (рис. 2), которые снижают суммарное индуктивное сопротивление x [2].

На рис. 2 представлены напряжения в начале и в конце участка линии с устройством продольно компенсации U_1, U_2 соответственно; индуктивное $x_л$ и активное $r_л$ сопротивления линии и индуктивное сопротивление устройства продольной компенсации $x_{упк}$.

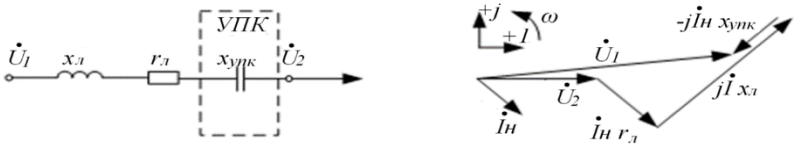


Рис. 2. Включение устройства продольной компенсации и векторная диаграмма токов и напряжений

В работах [2-4] отмечается, что применение устройств продольной компенсации для снижения колебаний напряжения оказывается эффективным при значительном реактивном сопротивлении линии, когда отношение $x_л/r_л$ велико, а также при невысоких значениях коэффициента мощности. В режиме максимальных нагрузок потребителей применение устройств продольной компенсации позволяет эффективно уменьшать колебания напряжения, что может быть использовано для электроснабжения сварочных установок и рудно-термических печей [3].

Устройства продольной компенсации включаются последовательно со сварочными или печными трансформаторами, при этом как отмечается в работах [2-4] некоторые переходные режимы работы, в частности, резкие изменения нагрузки, шунтирование или расшунтирование батарей конденсаторов, приводит к возникновению феррорезонанса токов и субгармоническим колебаниям напряжения.

В мировой практике устройства продольной компенсации применяются достаточно часто [4], однако в России такие установки являются дорогостоящими и не находят широкого применения.

К мероприятиям по снижению колебаний напряжения для нормализации фликера, выполняемым в ходе эксплуатации объектов относят:

а) применение быстродействующих синхронных компенсаторов [4].

Такие устройства в настоящее время считаются неэффективными в связи с наличием следующих недостатков: высокой удельной стоимости выработки реактивной мощности, связанной с дороговизной обслуживания; износом вращающихся частей и высокими значениями потерь, низкое быстродействие. В связи с этим, быстродействующие

синхронные компенсаторы в настоящее время не находят широкого применения.

б) применение статических источников реактивной мощности. Они характеризуются высоким быстродействием, плавным изменением реактивной мощности, а также безынерционностью.

На (рис.3) приведена схема статического источника реактивной мощности с параллельным включением регулируемой индуктивности управляемого реактора и нерегулируемой емкости конденсаторной батареи [3].

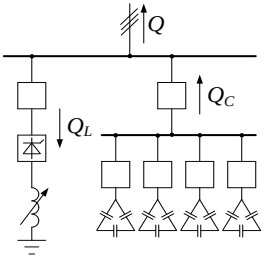


Рис. 3. Фрагмент электрической схемы с статического источника реактивной мощности

Суммарная мощность статического источника реактивной мощности может быть определена как:

$$Q = Q_L - Q_C \tag{11}$$

где Q_L- мощность, потребляемая реактором, Q_C – мощность, генерируемая конденсаторной батареей.

Значение и направление мощности статического источника реактивной мощности зависят от регулируемой мощности Q_L. При увеличении потребляемой нагрузкой реактивной мощности статический источник реактивной мощности увеличивает выработку до максимального значения, равного Q_C, а при снижении потребления выработка понижается до минимального значения.

Основным фактором, сдерживающим применение статических источников реактивной мощности в России, является их высокая стоимость и практическое отсутствие отечественной элементной базы.

Таким образом, все известные мероприятия по снижению колебаний напряжения для нормализации фликера являются дорогостоящими, поскольку требуют использования достаточно большого количества технических средств, однако их практическая реализация не всегда позволяет нормализовать уровень восприятия фликера в соответствии с [5].

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.Н. Яковкина

Литература:

1. Андрушкевич, О.Н. Электромагнитная совместимость. Совершенствование фликер-модели: автореферат дисс. маг. / О.Н. Андрушкевич - Донецк: ДонНТУ, 2007. - 5 с.
2. Жежеленко, И.В. Качество электроэнергии на промышленном предприятии: монография / И.В. Жежеленко, М.Л. Рабинович, В.М. Божко. Киев: Техніка, 1981.-160 с.
3. Хабиер, Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: монография / Э. Хабигер. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 304 с.
4. Куро, Жак. Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении [Электронный ресурс]/ Жак Куро // РУСЭЛТ, 2007. – URL: http://www.ruselt-spb.ru/index.php?option=com_ content&task=view&id= 986.
5. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144-2013. - М. : Стандартинформ, 2014.

А.С. Лысков,
Лысьвенский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Лысьва
khamat_e@mail.ru

РАЗРАБОТКА МНОГОКООРДИНАТНОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

Целью данной работы было создание многокоординатного электромеханического устройства.

При реализации данной цели возникает несколько проблем, таких как:

1) Выбор микроконтроллера
2) Создание электрической схемы
3) Проектирование печатной платы
4) Выбор двигателей
5) Выбор источника питания
6) Настройка взаимодействия всего комплекса

Микроконтроллеры в наше время стали очень популярны и доступны. Сейчас существуют микроконтроллеры решающие самые разные задачи.

При анализе существующих микроконтроллеров был сделан выбор в пользу микроконтроллера ATmega 328.

В наше время микроконтроллер ATmega 328 интегрирован в плату Arduino.

Для реализации нашей задачи была выбрана плата Arduino UNO R3, она соответствует нашим требованиям по функционалу и стоимости.

Таблица 1 – Характеристики микроконтроллера

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	6
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	32 КБ (ATmega328) из которых 0.5 КБ используются загрузчиком
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Электрическая схема платы продемонстрирована на рисунке 1.

При желании, если вы хотите получить больше возможностей, данную плату можно заменить на Arduino Mega 2560 или использовать микроконтроллер STM32.

В качестве двигателя был выбран сервопривод Tower Pro SG90. Его основные технические характеристики прописаны в таблице 2.

Также можно заменить и двигатели. Можно использовать сервоприводы MG995 они обладают большей мощностью и точностью позиционирования, или же использовать шаговые двигатели, хорошо подойдут двигатели Nema17, но их использование осложняется необходимостью подключения через так называемый драйвер (плата,

состоящая из нескольких микросхем, позволяющая управлять шаговыми двигателями).

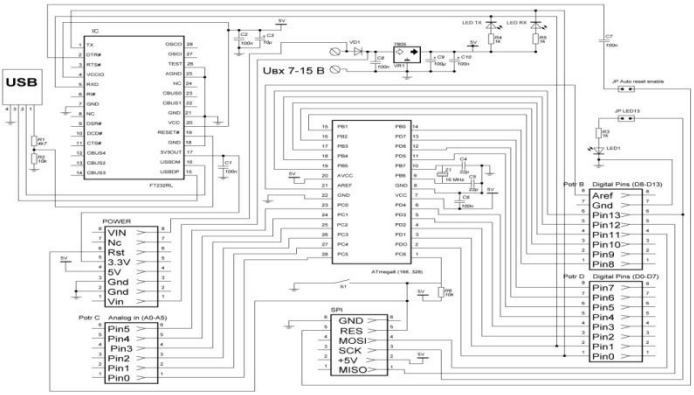


Рис. 1. Электрическая схема платы

Таблица 2 – Основные технические характеристики сервопривода Tower Pro SG90**.**

Материал редуктора	Нейлон
Напряжение питания	3 - 5В
Усилие на валу	1.2кг/см (4.8В); 1.6кг/см (6.0В)
Мертвая ширина импульса	2мс
Размер	Микро (22мм x 11.5мм x 27мм)
Масса:	9г
Угол поворота	160

Внешний вид данного двигателя приведён на рисунке 2.

Рис. 2. Внешний вид сервопривода Tower Pro SG90.

Далее, для упрощения работы, была выбрана беспаечная макетная плата. Её главный плюс в том, что мы можем собрать электрическую схему без пайки. Её внешний вид приведён на рисунке 3.

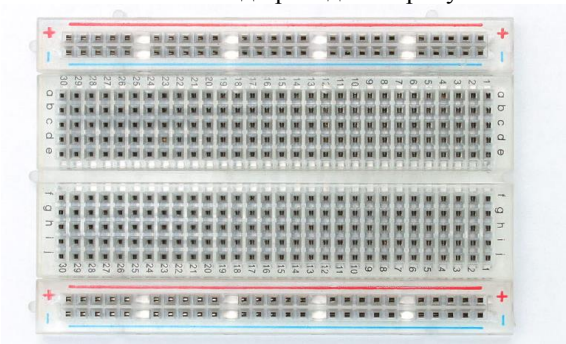


Рис. 3. Внешний вид беспаечной макетной платы

Для обеспечения питания был выбран ATX блок питания от ПК мощностью 250 Вт. Данного блока питания или близко похожих хватит на реализацию множества проектов, так как такие блоки питания обладают большой выходной мощностью и достаточным количеством разъёмов. На рисунке 4 представлен внешний вид нашего блока питания.

Рис. 4. Внешний вид блока питания

Далее нужно было реализовать связь между платой управления и серводвигателем. С платы Arduino мы используем 3 контакта: +5V, GND и вывод ШИМ. Проектирование электрических схем проще всего реализовать в программе Eagle CAD. Данная программа бесплатна для студентов, она является интуитивно понятной в использовании. Реализованная схема представлена на рисунке 5.

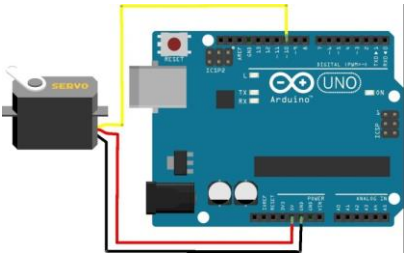


Рис. 5. Схема связи между платой управления и серводвигателем

После создания электрической схемы встала задача «подружить» наши устройства на программном уровне. Для этого было использовано программное обеспечение Arduino IDE, использующее язык программирования microC. Данное программное обеспечение находится в открытом доступе, что немаловажно, и в интернете существует множество примеров работы с таким «софтом».

В заключении хотелось бы отметить, что при написании данной работы были получены важные знания и опыт в современной робототехнике и программировании. Были приобретены навыки в создании и реализации электрических схем с участием микроконтроллера. Были изучены основы работы в среде программирования Arduino IDE и работы с языком microC. Появилось желание развиваться в данном направлении. Данная статья может быть использована для начала обучения работы с микроконтроллерами и сервоприводами, она может оказать помощь в решении некоторых проблем, связанных с применением такого оборудования. Все действия приведённые в статье были проделаны мною лично и получили развитие и распространение.

Научный руководитель: доцент В.Г. Лопатин

Литература:

1. Arduino для начинающих. Урок 4. Управление сервоприводом [Электронный ресурс]. – URL: http://edurobots.ru/2014/04/arduino-servoprivod/

2. Сервомотор и Arduino [Электронный ресурс]. – URL:http://arduino-diy.com/arduino-servomotor

3. Среда разработки Arduino [Электронный ресурс]. – URL:http://arduino.ru/Arduino_environment

4. Интернет магазин Arduino [Электронный ресурс]. – URL: http://shop.zelectro.cc/servo-9g-sg90
5. Сервоприводы [Электронный ресурс]. – URL: http://amperka.ru/collection/servo
6. Что такое сервопривод? [Электронный ресурс]. – URL: http://zelectro.cc/what_is_servo
7. Урок 2. Плата Arduino UNO R3. Описание, характеристики [Электронный ресурс]. – URL: http://mypractic.ru/urok-2-plata-arduino-uno-r3-opisanie-xarakteristiki.html
8. Плата микрокомпьютерная Arduino UNO R3[Электронный ресурс]. – URL: http://ковак.рф/index.php?pag=3003

Лэ Ван Тхао,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск
vanthaoirk@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КОАКСИАЛЬНОЙ ТРЕХСЕГМЕНТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

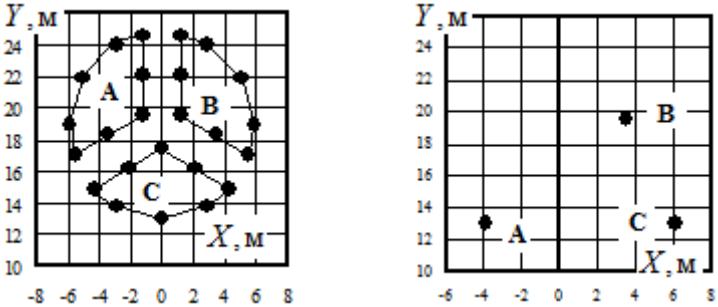
В настоящее время предложено большое число новых конструкций линий электропередачи (ЛЭП) повышенной пропускной способности, позволяющих существенно увеличить эффективность транспорта электроэнергии [1, 2]. Для практического использования таких ЛЭП необходимы адекватные методы и средства для определения режимов электроэнергетических систем (ЭЭС), включающих в свой состав линии подобного типа. Не менее актуальной является задача моделирования электромагнитных полей, создаваемых этими ЛЭП.

Указанный комплекс задач может быть решен на основе методов моделирования ЭЭС в фазных координатах, предложенных в ИрГУПСе [3, 4]. Разработанный на их основе программный комплекс Fazonord [3] позволяет проводить расчеты режимов ЭЭС и электромагнитных полей ЛЭП нетрадиционных конструкций. В комплексе реализованы оригинальные идеи моделирования многопроводных элементов со взаимоиндуктивными и емкостными связями с помощью решетчатых схем замещения. Применение таких методик позволяет моделировать практически различные типы многопроводных линий с большим количеством проводов и любые, приемлемые на практике, типы трансформаторов. При этом

анализируемая ЛЭП рассматривается в неразрывной связи со сложной электроэнергетической системой.

Ниже представлены результаты моделирования электромагнитных полей (ЭМП) коаксиальной трехсегментной линии электропередачи 220 кВ, координаты расположения проводов которой показаны на рис. 1, а. Для сравнения выполнено моделирование типовой ЛЭП 220 кВ (рис. 1, б).

Моделирование осуществлялось с помощью комплекса программ Fazonord, общий вид схем расчетных моделей показан на рис. 2. На приемном конце ЛЭП подключалась симметричная нагрузка 50 + j50 МВ·А.



а) б)

Рис. 1. Координаты проводов:
а – коаксиальная трехсегментная ЛЭП; б – типовая ЛЭП 220 кВ

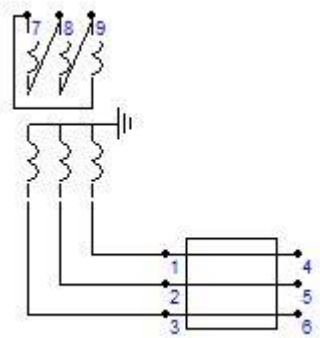
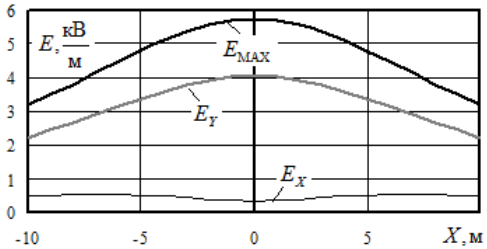


Рис. 2. Схема расчетных моделей**:**

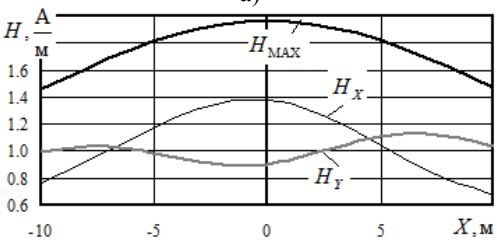
Результаты моделирования ЭМП представлены на рис. 3–5.

Таблица 1 – Результаты определения ЭМП коаксиальной трехсегментной линии электропередачи 220 кВ

X, м	E_X, кВ/м	E_Y, кВ/м	E_{MAX}, кВ/м	H_X, А/м	H_Y, А/м	H_{MAX}, А/м
–10	0,51	2,23	3,19	0,77	1,00	1,46
–8	0,56	2,66	3,81	0,91	1,04	1,61
–6	0,57	3,15	4,49	1,09	1,02	1,75
–4	0,50	3,60	5,12	1,25	0,96	1,86
–2	0,40	3,93	5,57	1,36	0,90	1,94
0	0,33	4,05	5,73	1,38	0,90	1,96
2	0,40	3,93	5,57	1,29	0,98	1,94
4	0,50	3,60	5,12	1,13	1,08	1,87
6	0,57	3,15	4,49	0,95	1,13	1,76
8	0,56	2,66	3,81	0,79	1,11	1,62
10	0,51	2,23	3,19	0,68	1,04	1,47

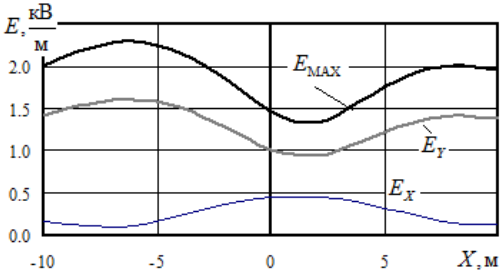


а)

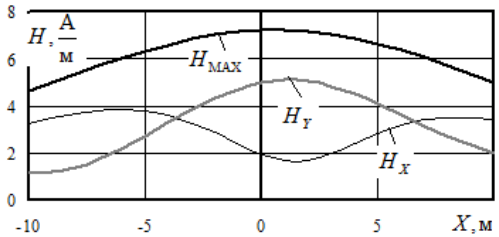


б)

Рис. 3. Распределение напряженностей по горизонтальной оси коаксиальной трехсегментной ЛЭП:
а – электрическое поле; б – магнитное поле



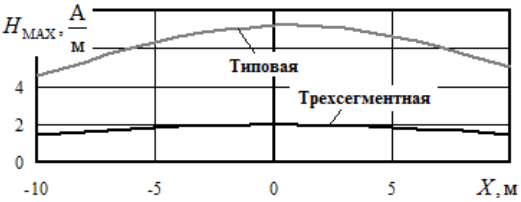
а)



б)

Рис. 4. Распределение напряженностей по горизонтальной оси типовой ЛЭП:
а – электрическое поле; б – магнитное поле

а)



б)

Рис. 5. Распределение напряженностей по горизонтальной оси
а – электрическое поле; б – магнитное поле

На основании полученных результатов могут быть сформулированы следующие выводы:

1. Уровни напряженностей магнитного поля в обеих конструкциях не превосходят допустимых значений.

2. Напряженность электрического поля для трехсегментной ЛЭП превосходит допустимые значения.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, академик Российской академии транспорта, член-корр. Российской инженерной академии, заслуженный энергетик РБ А.В. Крюков

Литература:

1. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические основы. Т. 3. М.: НТФ «Энергопрогресс» корпорации «ЕЭЭК», 2012. 368 с.
2. Александров Г.Н. Новые средства передачи электроэнергии в энергосистемах / Г.Н. Александров, Г.А. Евдокунин, Т.В. Лисочкина и др. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. 232 с.
3. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та. 2005. 273 с.
4. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Электромагнитная обстановка на объектах железнодорожного транспорта. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2011. 130 с.

А.А. Майоров, И.Ф. Мингазов, Р.Р. Умутбаев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ

79276706401@yandex.ru

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АНЕМОМЕТР НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ ARDUINO

Ультразвуковые анемометры (акустические анемометры) - измеряющие скорость и направление работают на основе ультразвуковых волн. Для этого анемометр оснащен двумя парами ультразвуковых преобразователей (HC-SR04), расположенных друг напротив друга. Каждый преобразователь излучает ультразвуковой

сигнал в направлении воздушного потока на противоположный преобразователь.

Для того что бы получить измеритель скорости ветра потребуется отпаять у HC-SR04 один из датчиков на выбор — либо приемник, либо передатчик и закрепить его с противоположной стороны. Если ничего не менять в HC-SR04, то при наличии встречного ветра скорость звука до препятствия будет меньше, а при отражении от препятствия по пути обратно на ту же величину увеличится. В результате средняя скорость будет такой же как и при штиле. Подставим измеренную температуру воздуха с датчика DS18B20. Можно использовать датчик влажности DHT-11. В нем также есть датчик температуры, но он имеет точность чуть хуже чем DS18B20. Установлено, что DS18B20 немного быстрее реагирует на изменение температуры чем DHT-11 и дает чуть более точные данные, поэтому в формулу (1) подставили значения именно с него.

Акустические анемометры широко используются, потому что они имеют высокую точность и структуру, в которой нет никаких движущихся частей. Они также сохраняют свою оптимальную производительность в турбулентном окружении.

Скорость звука в воздухе в зависимости от давления (высоты), влажности и температуры можно рассчитать по формулам.

$$\mathrm{c} = \sqrt{\frac{\mathrm{j}\cdot\mathrm{R}(\mathrm{t}-273{,}5)}{\mathrm{M}}}\ ,\mathrm{M} = 28{,}95 - 10{,}934 \cdot \mathrm{RH} \cdot \frac{\mathrm{Pn}}{\mathrm{P}}\ ,\mathrm{j} = \frac{7}{5}, \mathrm{R} = 8{,}314 \qquad (1)$$

где t — температура, P — давление, RH — относительная влажность, Pn — давление насыщенного водяного пара (определяем по таблице в зависимости от температуры). Аппроксимация опытных данных состояний насыщенного пара позволила получить достаточно точную формулу насыщенного пара для всего диапазона инженерных задач.

$$Pn = k \cdot 4{,}579 \cdot \exp(17{,}14 \cdot \frac{T}{235{,}3+T}) \qquad (2)$$

где Pn — давление насыщенного пара,t – температура насыщенного пара (воздуха), ^{0}C, K - переводной коэффициент размерности равный 133.3 Па.

Исследования показали, что состав воздуха в отдаленных от земли слоях атмосферы почти не меняется и процентное содержание кислорода в нем такое же, как и у поверхности земли. Поэтому молярная масса воздуха может меняться лишь от влажности за счет большей массовой доли H_2O.

По упрощенной формуле давление с высотой уменьшается по закону:

$$P = P_o(0{,}87)^h = P_0 \cdot 10^{-0{,}06h} \qquad (3)$$

Таким образом, парциальное давление уменьшается, а с ним и кол-во кислорода.

В целом, влияние влажности очень мало. Разница скорости звука между сухим воздухом (0%) и туманом (100%) составляет 2 м/с при температуре 25С, а при 0С всего лишь 0,4 м/с. Давление тоже, к удивлению, почти не влияет. На высоте 3 км над уровнем моря скорость звука увеличивается всего лишь на 0,5 м/с (при неизменной температуре 25С и влажности 40%). Основное влияние оказывает температура. Уменьшение температуры с 25 до 0 снижает скорость звука на 15.5 м/с.

Научный руководитель: профессор В.М. Солдаткин

Литература:

1. Ревич Ю. Занимательная электроника, БХВ-Петербург, 2015.
2. Петин В. Проекты с использованием контроллера Arduino, 2-е издание, БХВ-Петербург, 2015

Е.Ю. Маркин

Братский государственный университет, г. Братск,

mark.in1987@yandex.ru

ЭЛЕГАЗ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

В статье рассматривается история развития коммутационных аппаратов с использованием злегаза, их преимущества и недостатки, актуальность их применение в современной энергетике в нашей стране и за рубежом, особенности их эксплуатации, экологические воздействия на человека и окружающую среду.

Применение выключателей с элегазовой изоляцией в России началось с 1976 г. Уже в начале 90-х годов в Москве начали внедряться в эксплуатацию элегазовые выключатели [1]. Первые патенты на использование элегаза, как прерывающей среды, были зарегистрированы в 1938 году Виталием Гроссе (AEG) и независимо от него позже в США, в июне 1951 года, Лингалом, Броуном и Штормом (компания «Вестингауз»). Первое применение S56 для прерывания электрического тока датируется 1953 годом. Были разработаны высоковольтные переключатели нагрузки с напряжением от 15 до 161 кВ и с разрывной мощностью 600 Ампер [1]. Первый

высоковольтный автоматический выключатель тока, сконструированный компанией «Вестингауз» в 1956 году, мог прерывать ток силой в 5 кА под напряжением 115 кВ, но у него было 6 камер прерывания, расположенных на опоре поочерёдно [1]. В 1957 году в элегазовых выключателях был представлен метод компрессии, где относительное перемещения поршня и цилиндра, соединённого с движущей частью, используется для создания давления достаточного для гашения дуги через форсунку, сделанную из изолирующего материала [1]. При использовании этого метода давление в основном поднимается за счёт сжатия газа. Первый высоковольтный элегазовый выключатель с высокой способностью к отключению больших токов был разработан Вестингаузом в 1959 году. Баковый выключатель мог прерывать ток силой 41.8 кА под напряжением 138 кВ (10,000 МВ·А) и 37.6 кА под напряжением 230 кВ (15,000 МВ·А). Его эффективность была уже значительной, но три камеры на одну опору и источник высокого давления, необходимый для гашения (1.35 МПа), были ограничениями, которых следовало избежать в дальнейших разработках [1]. Замечательные свойства элегаза привели к быстрому распространению этого метода. В 70е годы прошлого века он стал использоваться в разработке элегазовых выключателей с высокой прерывающей способностью. Область их применения была ограничена напряжением до 750 киловольт. В настоящее время элегазовые выключатели наиболее популярны на напряжение 110-1150 кВ [1].

Рассмотрим свойства элегаза. Элегаз - это шестифтористая сера, именуемая как SF6, в газообразном состоянии не имеет цвета, запаха, негорючий, без токсинов и взрывобезопасный [2]. Молекулы элегаза представляют собой максимально компактное и максимально симметричное образование отрицательных атомов с большой молекулярной массой. Элегаз нашел широкое применение в высоковольтных распределительных устройствах. Беспрецедентные положительные характеристики элегаза, такие как: высокая компактность, низкий уровень шумов, защита от случайных контактов с токоведущими частями, металлическая оболочка, пожаробезопасность все они нашли свое применение в высоковольтных распределительных устройствах [2]. Пространство, которое требуется для РУ с элегазом примерно в 10 раз меньше пространства, требуемого для обыкновенной подстанции, как следствие такое элегазовое оборудование с изоляцией элегаза можно устанавливать на РУ в густонаселенных районах. Кроме того, элегаз обладает устойчивостью к внешним условиям, поэтому элегазовое РУ может применяться даже в химической промышленности [2].

Внедрение элегаза в выключатели высокого напряжение обусловленно его превосходным дугогасительным свойствам, а именно: дугогасительная способность электрического газа в 4-5 раз выше, чем у воздуха при равных условиях. Благодаря составу плазмы обладает нагревостойкостью до 800 градусов по цельсию, а также теплоемкостью, негорючестью, теплопроводностью и электропроводностью [2]. Способность быстро восстанавливать электрическую прочность промежутка после угасания электрической дуги в элегазе позволяет выигрывать у воздуха на порядок. Все перечисленные выше характеристики позволяют использовать элегаз в выключателях. Элегазовые выключатели обладают максимально высокой устойчивостью к самым строгим требованиям: выключение от питания максимальных токов короткого замыкания и бесперебойное напряжение токов громадных нагрузок [2]. Элегазовые выключатели отличаются комфортабельностью в эксплуатации. Для стабильной работы элегазовых выключателей содержание влаги в элегазе не должно быть выше сто милионных долей по объёму. Для предоставления требуемого условия нужна сушка элегаза перед использованием оборудования и принятия тех важных мер, которые требуются для поддержания влажности на допустимом уровне на межревизионный срок примерно 10 лет [2].

Рассмотрим основные недостатки элегаза. Одной из отрицательных особенностей является дороговизна изготовления. Требуется специальное оборудование для наполнения, перекачки и очистки SF6. Эксплутационная способность элегаза замечательно служит в равномерном поле. Следует обратить внимание, что в резко неоднородном поле появляются перенапряжения электрического поля, что приводит к возникновению коронного разряда [2]. Появление короны пагубно влияет на элегаз, так как происходит его разложение на низшие фториды. Они разрушают многие конструкционные материалы, которые используются в дугогасительных устройствах [2].

Еще одно отрицательное свойство элегаза это переход из газообразного состояния в жидкое при относительно высоких температурах [2]. Температура сжижения элегаза при избыточном давлении (давлении заполнения оборудования) 0,3 МПа составляет -45 °С, а при 0,5 МПа она повышается до -30 °С. Таким образом, наибольшее рабочее давление и, следовательно, наибольший уровень электрической прочности элегаза в изоляционной конструкции ограничиваются возможностью сжижения элегаза при низких температурах [3]. Но большинство отрицательных сторон элегаза устраняются, например: бак элегазового выключателя нагревают до 12

градусов по цельсию для того, чтобы исключить переход элегаза в жидкое состояние. Для того чтобы элегаз не терял своих технических свойств конструкций аппарата, на его части наносят тонкую алюминиевую пленку [2].

Рассмотрим вопросы техногенной безопасности в энергетике, связанные с применением элегаза. С одной стороны использование элегаза в коммутационных электроэнергетических системах позволяет снизить безопасность работы пер сонала и эксплуатационные расходы, с другой – элементы распада элегаза негативно воздействуют на окружающую среду и здоровье человека [4].

Элегаз, по степени воздействия на организм человека в нормальном состоянии относится к 4 классу опасности. В то же время у элегаза есть и некоторые недостатки, связанные с его химическими свойствами и технологией производства: переход в жидкое состояние при высоких температурах; опасность отравления его продуктами распада [5]. Продукты разложения получаются в электрической дуге, где часть SF6 распадается на отдельные элементы.Уровень риска здоровью человека, оказываемого SF6, зависит от ряда факторов: степени его распада и присутствующих продуктов распада; улетучивания используемого SF6 в окружающей среде; времени, в течение которого человек находится в среде, содержащий элегаз. Он состоит из многокомпонентной смеси химических веществ, но среди них доминирует по токсичности фторид тионила [4]. Доминирование этого компонента следует из его высокой нормы синтеза по сравнению с другими продуктами распада в сочетании с его уровнем токсичности. Далее фторид тионила реагирует с водой, приводя к образованию диоксида серы и фтористоводородной (плавиковой) кислоты. При длительном воздействии на организм высокой концентрации элегаза может привести к асфиксии (удушью – кислородному голоданию). Некоторые продукты распада могут вызвать раздражение кожи, глаз и слизистых оболочек дыхательного тракта [4]. В большой зоне риска находятся работники предприятий, связанные с фтором и фтористыми соединениями [4]. Избыток его в организме более 20 мг токсичен, доза в пределах 2 г способна оказать смертельное воздействие. Медики выявили зависимость высокого содержания фтора в окружающей среде обитания с развитием онкологических образований, в частности остеосаркомы [4].

Ведутся исследования по выявлению связи передозировки фтором и возрастающим уровнем рождения детей с синдромом Дауна. Фтор раздражает дыхательные пути, вызывает ожоги кожи [4]. При остром отравлении возникают раздражение слизистых оболочек гортани и

бронхов, глаз, слюнотечение, носовые кровотечения; в тяжелых случаях - отек легких, поражение центральной нервной системы и других; при хроническом - конъюнктивит, бронхит, пневмония, пневмосклероз, флюороз. Характерно поражение кожи типа экземы [4]. Высокие концентрации ионов Фтора опасны ввиду их способности к ингибированию к ряду ферментативных реакций, а также к связыванию важных в биологическом отношении элементов (P, Ca, Mg и т.д.), нарушающему в организме их баланс [4].

Растения превращают фтор в органические соединения, ядовитые для человека. Он влияет на метаболизм растений и способен вызывать снижение темпов поглощения кислорода, уменьшение содержания хлорофилла, подавление синтеза крахмала, разрушение ДНК и РНК и ингибировать ряд других процессов к снижению их продуктивности [6]. Образовавшаяся при распаде SF6 плавиковая кислота очень ядовита и обладает слабым наркотическим действием. Возможны острые и хронические отравления с изменением крови и кроветворных органов, органов пищеварительной системы, отёк легких. Обладает выраженным ингаляционным действием, раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки глаз (вызывает болезненные ожоги и изъязвления); кожнорезорбтивным, эмбриотропным, мутагенным и кумулятивным действием [4]. Ей присвоен второй класс опасности для окружающей среды. При попадании на кожу в первый момент не вызывает сильной боли, легко и незаметно всасывается, но через короткое время вызывает отёк, боль, химический ожог и общетоксическое действие. Симптомы от воздействия слабо концентрированных растворов могут появиться через сутки и даже более после попадания их на кожу. Специфические антидоты практически отсутствуют, поэтому при сорбции кожей смертельной дозы фтороводорода человек может жить несколько суток, но без надежды на спасение [4].

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.В. Струмеляк

Литература:

1. Зацаринная Ю.Н., Нурмеев Т.А. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 19. С. 167-168.

2. Зацаринная Ю.Н., Нурмеев Т.А. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 15. С. 86-87.

3. Использование элегаза [Электронный ресурс]. – URL: http://locus.ru/library/equipment_/955/page/5/

4.*Мельцаев И.Г., Павлов М.А.* В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения) Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса. 2017. С. 137-140.

5. Школа для электрика [Электронный ресурс]. – URL: http://electricalschool.info/main/

6. Энергетика. Оборудование. Документация [Электронный ресурс]. – URL: http://forca.ru.

Т.Ф. Махмудов
Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент
tox-05@yandex.com

К ПЕРСПЕКТИВАМ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УЗБЕКИСТАНЕ

Солнечная энергия, излучаемая Солнцем, способна вырабатывать тепло, вызывать химические реакции или вырабатывать электричество. Солнце является чрезвычайно мощным источником энергии, и солнечный свет на сегодняшний день является самым большим источником энергии, получаемой Землей, но его интенсивность на поверхности Земли на самом деле довольно низка. Это по существу связано с огромным радиальным распространением излучения от далекого Солнца. Относительно небольшие дополнительные потери связаны с земной атмосферой и облаками, которые поглощают или рассеивают до 54 процентов солнечного света. Однако общее количество солнечной энергии, падающей на Землю, значительно превышает текущие и ожидаемые потребности в энергии всего человечества. Если использовать эту энергию, этот сильно рассеиваемый источник энергии может удовлетворить все будущие потребности в энергии. Ожидается, что в XXI веке солнечная энергия будет становиться все более привлекательной в качестве источника энергии из-за ее неисчерпаемого предложения и возобновляемого характера, что резко контрастирует с конечными ископаемыми видами топлив углем, нефтью и природным газом.

Солнечный свет, который достигает земли, состоит из почти 50 процентов видимого света, 45 процентов инфракрасного излучения и меньшего количества ультрафиолетовых и других видов электромагнитного излучения. Это излучение может быть преобразовано либо в тепловую, либо в электрическую, энергию [1].

Желание задействовать энергию Солнца для нужд человечества издавна увлекало инициативные и дерзкие умы. В Узбекистане также известны примеры внедрения гелиосистем в широкое пользование, которые не получились прорывными. Но сейчас стало ясно, что пришло время серийного производства и массового распространения оборудования по выработке электроэнергии и тепла из лучей Солнца.

Государство предпринимает конкретные шаги по развитию солнечной энергетики – к примеру, под Самаркандом строится первая в стране солнечная электростанция мощностью 100 МВт. После запуска эта станция будет обеспечивать электроэнергией несколько районов. Проект реализуется в соответствии с указом Президента от 1 марта 2013 года.

В ноябре 2013 года в Ташкенте проходил Азиатский форум солнечной энергии, на котором солнечная энергетика была названа локомотивом выхода из кризиса. К 2020 году в Узбекистане планируется построить 3 солнечные электрические станции (СЭС) мощностью 100 МВт каждая. Это крупные станции. Строятся и средние станции, в 2015 году в Наманганской области была введена в эксплуатацию тестовая солнечная фотоэлектрическая станция (СФЭС) мощностью 130 кВт. Такая станция будет производить 500-600 кВт·ч энергии в сутки. Проект был осуществлен АО «Узбекэнерго» совместно с корейскими партнерами. В Бухарской области в апреле 2016 года была запущена мобильная солнечная электростанция мощностью 1,2 МВт для энергообеспечения объектов российской компании «Лукойл» [2].

На сегодняшний день во всех областях Республики установлено более 1 000 объектов солнечных ФЭС разных мощностей, более 500 солнечных водонагревателей и более 300 солнечных уличных осветительных приборов.

В 2012 году в Узбекистане при поддержке АБР был создан Международный институт солнечной энергии. Наша республика располагает квалифицированными кадрами в области научных исследований по солнечной энергетике, ведь еще с 1943 года в Ташкенте работает физико-технический институт, на базе которого в 1986 году было создано научно-производственное объединение «Физика-Солнце». Новый институт солнечной энергии создавался с целью продвижения современных технологий солнечной энергии, он сочетает функции научно-технической и проектной организации. Кроме того, институт может оказывать и консалтинговые услуги предприятиям в конкретных проектах.

Необходимо отметить, что в соответствии с Программой мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий и систем в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы, одобренной постановлением Президента Республики Узбекистан от 5 мая 2015 года №ПП-2343, в республике в последние годы реализуется широкий комплекс мер по обеспечению энергосбережения в отраслях экономики и социальной сфере.

Правительство планирует до 2031 года генерировать около 21% всех своих энергетических потребностей за счет возобновляемых источников энергии, включая солнечную энергию. В стране планируется строительство нескольких солнечных электростанций мощностью более 2 гигаватт.

В рамках принятой Программы мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетикt, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы предусматривается дальнейшее интенсивное внедрение инновационных технологий, научно-технических разработок в сфере развития возобновляемой энергетики и повышения энергоэффективности, расширение производства и локализации энергосберегающего оборудования и приборов, в том числе путем трансфера технологий и создания инженерных центров, диверсификация топливно-энергетического баланса в части производства электрической энергии с использованием возобновляемых и альтернативных источников энергии, энергетической утилизации вторичных энергетических ресурсов, вовлечение субъектов предпринимательства в создание генерирующих мощностей на основе апробированных технологий использования солнечной, ветровой энергии, микро- и малых гидроэлектростанций [3].

Кроме этого до 1 января 2020 года освобождаются от таможенных платежей (за исключением таможенных сборов) оборудование, сырье и материалы, комплектующие, приборы, технологическая документация и запасные части, не производимые в республике и ввозимые для реализации Программы мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015–2019 годы, по перечням, утверждаемым Кабинетом министров.

Научный руководитель: д.т.н. К.Р. Аллаев

Литература:

1. Kalogirou Soteris A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems, 2nd edition. - Elsevier Inc., 2014.
2. Солнечная энергетика: три причины невостребованности [Электронный ресурс]. – URL: http://kommersant.uz/kejs/solnechnaya-energetika
3. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 от 26.05.2017 г. «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы.

И.Ф. Мингазов, А.А. Майоров, Р.Р. Умутбаев
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань
min-insaf@yandex.ru

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТОКА

Для разработки измерителя силы тока нам понадобится преобразователь тока в напряжение (ПТН), выпрямитель (В), фильтр нижних частот (ФНЧ) и усилители (У).

В результате получаем следующую структурную схему измерителя, показанную на рисунке 1.

Измеритель работает следующим образом: на вход операционного усилителя (ОУ) подается синусоидальный ток ~*J* , ОУ преобразовывает ток в напряжение в отношение J/U ,так называемый преобразователь тока в напряжение (ПТН), и получаем напряжения *U* и через выпрямитель, переменное напряжения получается пульсирующее нужной полярности, после выпрямителя подается на вход фильтра низких частот (ФНЧ), которые не пропускают высокие частоты, и на выходе получаем нужное нам напряжения. Следующие элементы-это усилители, с помощью которых можем узнать напряжение в зависимости от среднего тока $U_{вых}(J_{ср})$ и в зависимости от амплитудного тока $U_{вых}(\check{I})$.

Принципиальная электрическая схема измерителя силы тока, показанная на рисунке 2, работает следующем образом: на вход *1* подается гармонический ток, *DA1* и *R1* преобразовывает ток в

напряжение, на выходе появляется напряжение в виде гармонического сигнала. Этот же сигнал идет на выпрямитель. При U<0 диод *VD1* открыт, а диод *VD2* закрыт. Как следствие потенциалы входов усилителя *DA3* равны нулю, а напряжение на инвертирующем входе *VD1* совпадает с входным. В таком случае усилитель *DA3* работает как инвертирующий повторитель и напряжение на выходе положительно. Если *U>0*, то диод *VD1* закрыт, а диод *VD2* открыт. Ток через резистор R2, а, следовательно, и через *R3* равен нулю, поэтому выходное напряжение схемы совпадает с потенциалом инвертирующего входа *DA1* и равно входному напряжению. На выходе получим постоянное напряжение, этот сигнал поступает на ФНЧ второго порядка с многопетлевой отрицательной обратной связью. Здесь *DA4* используется в инвертирующем включении. Как известно, на выходе получаем нужное нам сигнал, в определённом диапазоне частот. Этот сигнал идут на два инвертирующие усилители, которые имеют подстроечные рези́сторы, или переменные резисторы *R10* и *R14*, с помощью которых можно обеспечить нужного нам коэффициента усиления усилителя. В первом случае коэффициент усиления *k=1* и на выходе 2 получим напряжение в зависимости от среднего ток *Uвых(Jср)*. Во втором случае усилитель зависит от *k=π/2* и получаем на выходе 3 напряжение в зависимости от амплитудного тока *Uвых(İ)*.

Научный руководитель: д.т.н. В.В. Солдаткин

Литература:

1. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб.: Учитель и ученик: КОРОНА принт, 2004. – 416 с.

А.В. Мисюркеев, Н.К. Санников, И.М. Ушаков
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА НАКЛОННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 года, существенная роль отводится развитию использования возобновляемых источников энергии и энергоносителей. Вовлечение в топливно-энергетический баланс возобновляемых источников энергии

позволит сбалансировать энергетический спрос и снизить экологическую нагрузку со стороны предприятий энергетики на окружающую среду [1].

По существующим оценкам, технический ресурс возобновляемых источников энергии, преобладающую долю в котором имеет потенциал использования энергии солнца и энергии ветра, составляет не менее 4,5 млрд. тонн условного топлива в год, что более чем в 4 раза превышает объем потребления всех топливно-энергетических ресурсов России [1].

Экономический потенциал солнечной энергии в России составляет порядка 2,5 млн. тонн условного топлива [2]. Естественной сферой применения солнечных установок являются зоны децентрализованного тепло- и электроснабжения [2], площадь которых оценивается в 60% территории страны.

При разработке проектов использования солнечной энергии большое внимание необходимо уделять точности оценки прихода суммарной солнечной радиации. К настоящему времени разработаны многочисленные модели оценки прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации, поступающей на наклонные приемные поверхности. Большое влияние на поступающую радиацию оказывает облачность. К настоящему времени многолетние статистически необработанные данные о погоде в населенных пунктах могут быть получены на интернет-ресурсах, таких как rp5.ru, pogodaiklimat.ru, en.tutiempo.net. Использование данных о погоде последних лет позволяет учесть климатические изменения, произошедшие за последние десятилетия, а также улучшение средств измерения.

Суммарная солнечная радиация, поступающая на наклонную плоскость, включает три составляющие:

$$Q_{\text{накл}} = S_{\text{накл}} + D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}}, \qquad (1)$$

где $Q_{\text{накл}}$ – суммарная солнечная радиация, падающая на наклонную поверхность, Вт/м^2; $S_{\text{накл}}$ – прямое солнечное излучение, падающее на наклонную поверхность, Вт/м^2; $D_{\text{накл}}$ – рассеянное солнечное излучение, поступающее на наклонную поверхность, Вт/м^2; $R_{\text{накл}}$ – отраженная от земной поверхности радиация, Вт/м^2.

Рассмотрим методику расчета прямой солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность.

Значение Sнакл определяется в соответствии с выражением:

$$S_{\text{накл}} = S_{\text{орт}} \cos\theta, \qquad (2)$$

где $S_{\text{орт}}$ – прямое солнечное излучение на ортогональную лучам плоскость, Вт/м^2; θ – угол падения прямого солнечного излучения на поверхность, рад.

Значение $S_{орт}$ определяется по формуле Кастрова [3]:

$$S_{орт} = \frac{S_0 \sin\alpha}{\sin\alpha + c}, \quad (3)$$

Рассмотрим методику расчета рассеянной солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность. Могут использоваться изотропная или анизотропные модели. Применение изотропной модели может приводить к значительным отклонениям оценок от действительных. Анизотропная модель Дж. Хея может быть представлена следующими формулами:

$$D_{накл} = D_{гор}\left[F_{Hay}\frac{\cos\theta}{\sin\alpha} + \left(1 - F_{Hay}\right)\cos^2\frac{\beta}{2}\right], \quad (4)$$

$$F_{Hay} = \frac{Q_{гор} - D_{гор}}{S_{0гор}}, \quad (5)$$

где $S_{0гор}$ – внеатмосферная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, Вт/м^2; $D_{гор}$ – поток рассеянной солнечной энергии на горизонтальную поверхность, Вт/м^2; $Q_{гор}$ – поток суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Вт/м^2.

Рассмотрим модель оценки отраженной радиации, поступающей на наклонную поверхность. Для расчета отраженной радиации в большинстве исследований используют изотропную модель:

$$R_{накл} = \frac{Q_{гор} A_k (1 + \cos\beta)}{2}, \quad (6)$$

где A_k – альбедо земной поверхности, о.е.

Литература:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. – М.: ГУ ИЭС, 2010. – 184 с.
2. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / под ред. Безруких П. П. – Москва: ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с.
3. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 234с.

Нгуен Ван Хуан
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск
huanco.k7a@gmail.com

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ К ШИНАМ ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕТЕВОГО КЛАСТЕРА

В настоящее время в электроэнергетике России реализуется концепция интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивными электрическими сетями (ИЭЭС ААС) [1–3]. Центральный аспект этой концепции состоит в масштабном использовании наряду с традиционными электростанциями генерирующих установок, создаваемых потребителями электроэнергии [1–14]. Реализация концепции ИЭЭС ААС невозможна без разработки новых подходов, обеспечивающих более эффективное решение задач управления режимами объектов электроэнергетики [6–13].

Современная преобразовательная техника позволяет присоединять установки РГ к электроэнергетической системе через вставки постоянного тока. Подобная концепция ограничивает мощность короткого замыкания на шинах источников РГ, обеспечивает высокое качество электроэнергии и придает электроснабжению потребителей характер гарантированного питания. Источники РГ, объединенные в микроэнергосистемы (сетевые кластеры), обеспечивают не только повышенную надежность электроснабжения, но и открывают дополнительные возможности для оптимизации режимов и повышения экономичности производства и распределения электроэнергии.

Наличие шин постоянного тока в сетевых кластерах позволяет легко осуществлять упрощенное присоединение высоковольтных асинхронных электродвигателей (АЭД), оснащенных статическими преобразователями частоты (СПЧ); при этом необходимость в выпрямителях отпадает.

Для проверки работоспособности такого подхода проведено моделирование режимов сетевого кластера (microgrid), подключенного к шинам 6 кВ тяговой подстанции магистральной железной дороги. Сетевой кластер предназначен для электроснабжения нетяговых потребителей. В состав этих потребителей на крупных железнодорожных узлах могут входить высоковольтные асинхронные электродвигатели, оснащенные статическими преобразователями частоты.

Моделирование осуществлялось для двух вариантов:

– традиционное подключение АЭД через выпрямитель и инвертор (рис. 1);

– подключение АЭД к шинам постоянного тока сетевого кластера (рис. 2).

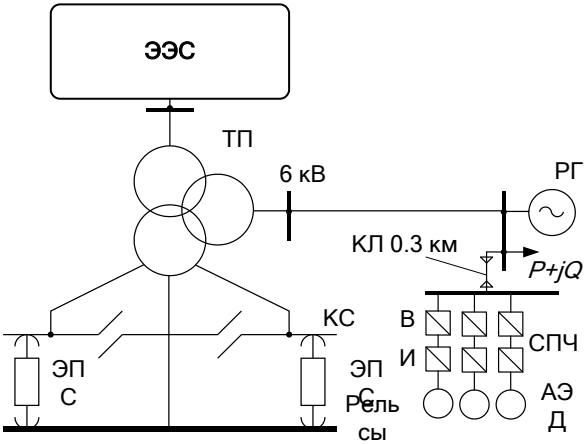


Рис. 1. Традиционная схема питания нетяговых потребителей:
ТП – тяговая подстанция; ЭЭС – электроэнергетическая система; РГ– установка распределенной генерации; КЛ – кабельная линия; В – выпрямитель; И – инвертор; ЭПС – электроподвижной состав

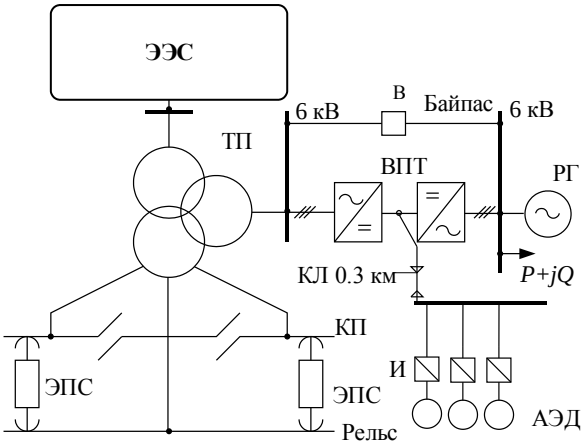


Рис. 2. Подключение двигателей к шинам постоянного тока

Моделирование осуществлялось в системе Matlab, фрагмент схемы модели показан на рис. 3.

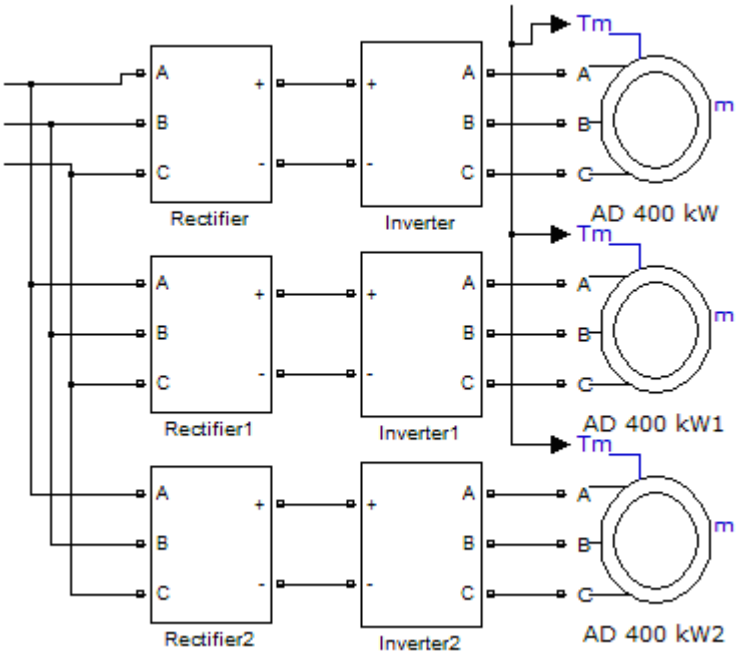


Рис. 3. Фрагмент схемы модели

Результаты моделирования в виде значений коэффициентов гармоник k_U и несимметрии k_{2U} на шинах 6 кВ сетевого кластера приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Показатели качество электроэнергии для схемы, представленной на рис. 1

№	Режим системы	k_U, %			k_{2U}, %
		U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	
1	До подключения АЭД	8,54	10,54	10,35	8,54
2	После подключения АЭД	16,87	16,2	17,58	8,70

Таблица 2 – Показатели качество электроэнергии для схемы, представленной на рис. 2

№	Режим системы	k_U, %			k_{2U}, %
		U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	
1	До подключения АЭД	1,27	1,07	1,44	0,24
2	После подключения АЭД	2,69	2,49	2,15	1,03

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Наличие шин постоянного тока в сетевом кластере дают возможность использовать упрощенные схемы статических преобразователей СПЧ, в которых отсутствуют выпрямители.

2. Вставка постоянного тока позволяет существенно улучшить показатели качества электроэнергии в сетях, питающихся от районных обмоток тяговых подстанций.

3. После подключения СПЧ происходит некоторое увеличение коэффициентов гармоник и несимметрии на шинах 6 кВ сетевого кластера. Однако все показатели качества остаются в допустимых пределах.

Научные руководители: д.т.н., профессор, академик Российской академии транспорта, член-корр. Российской инженерной академии, заслуженный энергетик РБ А.В. Крюков, к.т.н. Чан Зюй Хынг, Военно-промышленный колледж, провинция Фу Тхо, Социалистическая Республика Вьетнам

Литература:

1. Арсентьев М.О., Арсентьев О.В., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Распределенная генерация в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2013.164 с.

2. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015. 208 с.

3. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Применение сетевых кластеров (microgrid) в системах электроснабжения железных дорог. Братск: БрГУ, 2016. 178 с.

4. Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Влияние установок распределенной генерации на качество электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог // Современные технологии.

Системный анализ. Моделирование. № 4(36). 2012. С. 162-167.

5. Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог переменного тока // Системы. Методы. Технологии. 2013. №1 (17). С 59-63.

6. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Автоматические регуляторы для установок распределенной генерации // Системы. Методы. Технологии. №3 (23). 2014. С. 108-116.

7. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Улучшение качества электроэнергии нетяговых потребителей путем применения автоматически управляемых установок распределенной генерации // Системы. Методы. Технологии. 2014. №4 (24). С.

8. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Нечёткие регуляторы для ветрогенерирующих установок // Проблемы энергетики. № 7-8. 2014. С. 60-69.

9. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Согласованная настройка регуляторов установок распределенной генерации, работающих в системе электроснабжения железной дороги // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 1(25). С. 94–102.

10. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Чан Зюй Хынг Интеллектуальные регуляторы для установок распределенной генерации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 2(46). С. 83–95.

11. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Определение параметров прогностических регуляторов для установок распределенной генерации систем электроснабжения железных дорог // Системы. Методы. Технологии. № 2(30). 2016. С. 84-91.

12. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Прогностические регуляторы для установок распределенной генерации // Системы. Методы. Технологии. № 1(29). 2015. С. 63-69.

13. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Методика настройки прогностических регуляторов установок распределенной генерации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. № 11-12. 2016. С. 84-95.

Нгуен Ты
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск
nguyentu_1991@mail.ru

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЛИЯНИЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ

Тяговые сети железных дорог переменного тока могут наводить опасные напряжения на отключенных линиях электропередачи [1, 2]. Особую актуальность имеют задачи моделирования наведенных напряжений на линиях, проходящих по территориям железнодорожных станций. На станциях имеется большое количество путей и контактных подвесок, что существенно усложняет картину распределения электромагнитных полей (ЭМП). Кроме того, на характер распределения ЭМП в пространстве значительное влияние оказывают металлические вагоны и цистерны, которые могут длительное время находиться на станционных путях.

Моделирование осуществлялось для двух вариантов по методике, изложенной в работах [3–6]:

- на станции находятся металлические вагоны и цистерны;
- вагоны и цистерны отсутствуют.

Исследование влияния перечисленных факторов выполнено для достаточно типичного случая тяговой сети 27,5 кВ железнодорожной станции, схема которой показана на рис. 1, а фрагмент сечения представлен на рис. 2.

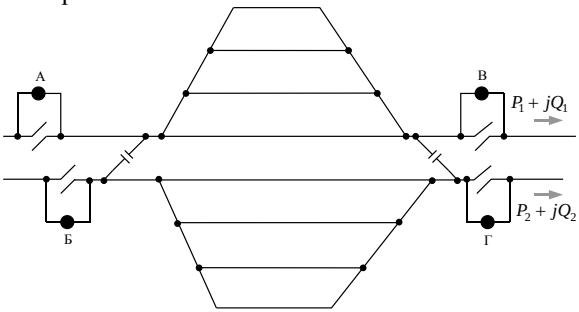


Рис. 1. Схема контактной сети станции: А, Б, В, Г – включенные продольные разъединители

Схема расчетной модели восьмипутного участка длиной 2 км, сформированная средствами программного комплекса Fazonord, представлена на рис. 3.

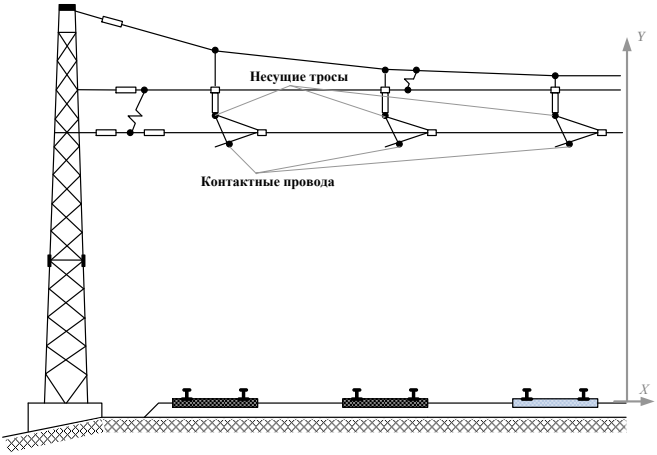


Рис. 2. Фрагмент сечения тяговой сети

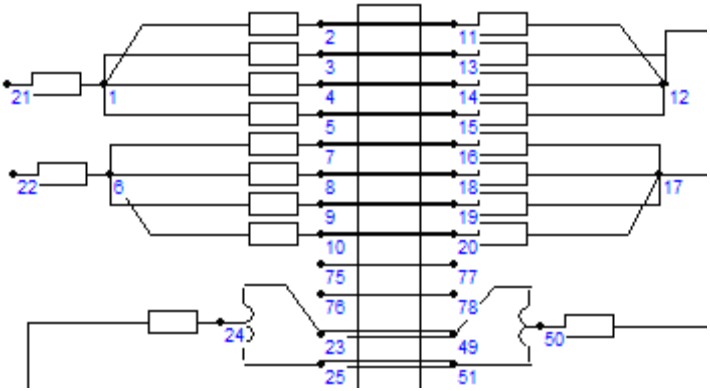


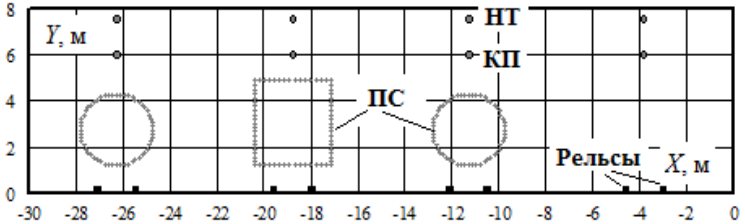
Рис. 3. Фрагмент схемы расчетной модели комплекса «Fazonord»

Контактная сеть путей составлена проводами ПБСМ-95+МФ-100, рельсы Р-65. Рельсы по обе стороны рассматриваемого участка учтены включением RL-элементов сопротивлениями 0,1 Ом. К средним точкам дроссель-трансформаторов ДТ-1-300 подключены нагрузки 10 +*j*10 МВ·А, потребляющие токи по 414 А. Узлы 21, 22 являются балансирующими с напряжениями 27,5 кВ. Координаты токоведущих частей – контактных проводов, несущих тросов, тяговых рельсов – приведены на рис.4.

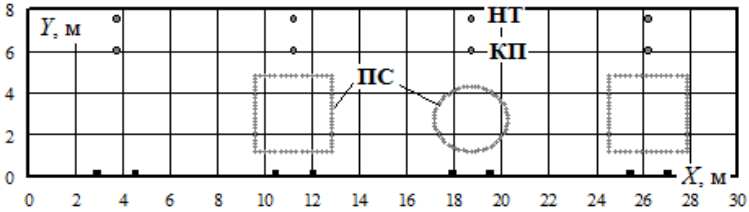
Рис. 4. Координаты расположения проводов и рельсов

Рассматриваемая в настоящей работе методика применима для расчета наведенных напряжений, создаваемых тяговыми сетями (ТС) любой сложности, в частности, ТС на железнодорожных станциях со значительным числом путей и контактных подвесок и наличием подвижного состава на путях.

Для иллюстрации возможностей моделирования рассмотрена ситуация когда два главных пути станции свободны от поездов, а на боковых путях расположены вагоны и цистерны. При расчетах учитывались рельсовые нити как отдельные заземленные проводники.



а)



б)

Рис. 5. Координаты проводов многопроводной системы при наличии подвижного состава: а – нечетный парк; б – четный парк

Моделирование проводилось для двух вариантов: в первом линия, подверженная влиянию, была заземлена на одном конце, а втором – заземление отсутствовало.

Результаты моделирования приведены в рис. 6, 7 и табл. 1

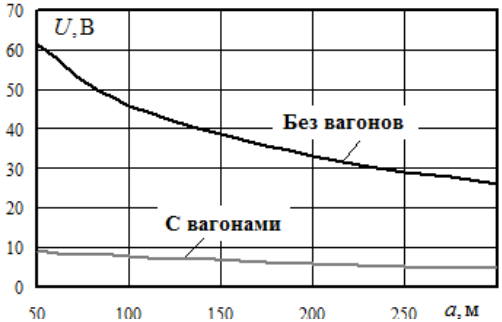


Рис. 6. Зависимость наведенного напряжения от ширины сближения при заземленной ЛЭП

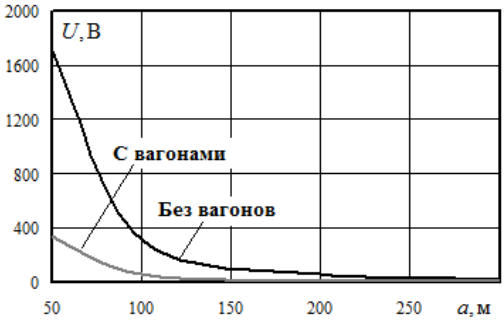


Рис. 6. Зависимость наведенного напряжения от ширины сближения при незаземленной ЛЭП

Таблица 1 – Сводные показатели

Ширина сближения	Заземлена			Не заземлена		
	Без вагонов	С вагоны	Различие, %	Без вагонов	С вагоны	Различие, %
50	61,4	8,9	85,50	1708	335	80,39
100	45,8	7,8	82,97	315	63,4	79,87
200	33	5,9	82,12	63	13,8	78,10
300	26	4,8	81,54	22	5,4	75,45

Полученные результаты позволяют сформулировать следующий вывод: из-за экранирующего действия подвижного состава,

находящегося на боковых путях станции, наведенные напряжения снижаются на 75…85 % по сравнению с ситуацией, когда вагоны и цистерны отсутствуют.

Научный руководитель:
д.т.н., профессор, академик Российской академии транспорта, член-корр. Российской инженерной академии, заслуженный энергетик РБ
А.В. Крюков

Литература:

1. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость. М.: УМК МПС, 2002. 638 с.
2. Марквардт К.Г. Энергоснабжение электрических железных дорог. М.: Транспорт, 1965. 464 с.
3. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Иркут. ун-т. 2005. 273 с.
4. Крюков А.В., Закарюкин В.П. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск: ИрГУПС, 2011. 170 с.
5. В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, Ты Нгуен. Определение наведенных напряжений при сложных траекториях сближения тяговой сети переменного тока и смежной линии // Вестник РГУПС. № 2(62). 2016. С. 115-123.
6. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Нгуен Ты. Моделирование систем тягового электроснабжения с коаксиальными кабелями и отсасывающими трансформаторами // Электроника и электрооборудование транспорта. С. 17-22.

Е.В. Новиков
Братский государственный университет, г. Братск
armyvs@mail.ru

НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СУШКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Твердая изоляция трансформаторов состоит в основном из органических волокнистых материалов: бумага, картон, древесно-слоистый пластик и т.д. [1]. Данные материалы характеризуются значительной пористостью и влагопоглощаемостью. В связи с этим трансформаторы при транспортировке и длительном простое

подвергаются воздействию влажной среды, что сильно снижает их электрическую прочность. Особенно сильно это проявляется в Иркутской области, так как на реке Ангара установлены и функционирую 4 гидроэлектростанции (ГЭС): три из них находятся в Иркутской области, а одна в Красноярском районе – Богучанская ГЭС. Работа ГЭС связана с затоплением больших площадей, изменяющих климат на близлежащих территориях, особенно сильно влияющих на влажность атмосферного воздуха. В связи с этим данная тематика считается актуальной и своевременной.

Увлажнение изоляции трансформаторов, не задействованных в работе или транспортируемых для дальнейшего использования на предприятии происходит быстрее относительно активно использующихся.

Сушке следует подвергать трансформаторы, результаты предварительных испытаний которых не удовлетворяют требованиям ГОСТа [2]. Для ускорения процесса сушки необходимо обеспечить отвод паров испарения влаги и конденсата от трансформатора. В связи с этим применяют следующие способы [3]:

1. индукционный нагрев за счет вихревых потерь в стали бака;
2. токами короткого замыкания;
3. постоянным током;
4. токами нулевой последовательности;
5. циркуляцией масла через электронагреватели;
6. нагревом бака инфракрасным излучением;
7. обдувом горячим воздухом в сушильном шкафу.

Физическая основа процесса удаления влаги из изоляции термообработкой состоит в том, что при нагретой изоляции влага перемещается из внутренних слоев трансформатора на поверхность, а с нее испаряется в окружающую среду. Рассмотрим первый способ сушки, подразделяющийся на два вида: с применением вакуумной установки и с помощью подачи горячего воздуха на обмотки.

Первый способ сушки трансформатора в собственном баке с применением вакуума (рис. 1).

Перед сушкой трансформатора необходимо: тщательно очистить бак от остатков масла и утеплить его листовым асбестом толщиной 4—5 мм, наложить намагничивающую обмотку, установив вакуум-насос и под дно трансформатора электропечи), приступают к самому процессу сушки. Для нагрева трансформатора применяют метод индукционных потерь. Размещенная на боковой поверхности бака намагничивающая обмотка из изолированного провода при питании переменным током создает магнитное поле, которое индуцирует в баке

вихревые токи, нагревающие его. Тепло бака передается сердечнику и нагревает обмотку. Для ускорения прогрева и улучшения качества сушки трансформатора следует подогревать дно бака. В большинстве случаев для этого используют электропечи.

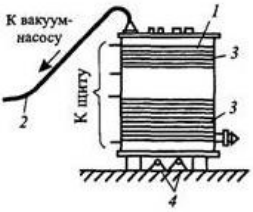


Рис. 1. Схема сушки трансформатора в собственном баке методом индукционных потерь под вакуумом:
1 – бак трансформатора; 2 – вакуумный трубопровод; 3 – намагничивающая обмотка; 4 – электропечи для подогрева дна бака

В процессе сушки желательно поддерживать возможно более глубокий вакуум, однако пределом будет является жесткость бака трансформатора.

Конечная стадия сушки трансформатора определяется путем наблюдения зависимости изоляции от времени. После качественно выполненной просушки трансформатора сопротивление изоляции становится постоянным и не изменяется со временем при постоянной температуре.

Применение вакуума позволяет снизить температуру испарения влаги, содержащейся в изоляции, в результате чего изоляция трансформатора в меньшей степени подвергается воздействию высокой температуры и процесс ее старения замедляется.

Второй способ сушки трансформатора без вакуума с интенсивной вентиляцией активной части трансформатора горячим воздухом для удаления влаги (рис. 2).

Трансформатор также нагревают индукционным способом и в случае необходимости - электропечами. Для утепления его помещают в специальный шкаф, обитый внутри листовой сталью и асбестом. Активную часть трансформатора вентилируют подогретым воздухом. Для этой цели на крышке трансформатора установлен вентилятор 5, который отсасывает воздух из бака трансформатора. Воздух, поступающий в бак, дополнительно подогревается и его температура поддерживается на уровне около 105 °С. Для ускорения сушки рекомендуется использовать термодиффузию, которая заключается в периодическом снижении до 50—60 °С температуры трансформатора и повышении ее до прежнего уровня. При снижении температуры

верхние слои изоляции остывают быстрее внутренних, в результате чего создается температурный перепад, усиливающий внутреннюю диффузию и ускоряющий процесс сушки.

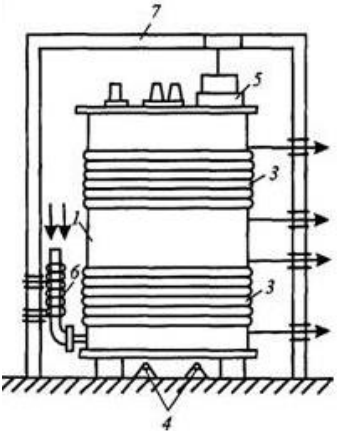


Рис 2. Схема сушки трансформатора в собственном баке методом индукционных потерь без вакуума:
1 – бак трансформатора; 2 – вакуумный трубопровод; 3 – намагничивающая обмотка; 4 – электропечи для подогрева дна бака; 5 – вентилятор; 6 – электрическая печь для подогрева поступающего воздуха; 7 – утепленная камера

Перемещение влаги в изоляции объясняется разностью давлений водяных паров на ее поверхности и внутри: внутри изоляции давление выше, на поверхности – ниже. Исходя из этого оптимальным способом сушки трансформатора можно принять сушку под вакуумом.

Научный руководитель: к.т.н., доцент М.П. Плотников

Литература:

1. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004 – 616 с.

2. ГОСТ 3484.3-88 (СТ СЭВ 5266-85) Трансформаторы силовые. Методы измерений диэлектрических параметров изоляции.

3. Котеленец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник для вузов / Н. Ф. Котеленец, Н. А. Акимова, М. В. Антонов. – М.: Издательский центр -«Академия», 2003. — 384 с.

Е.В. Новиков
Братский государственный университет, г. Братск
armyvs@mail.ru

НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТАНГЕНСА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Реалии сегодняшнего дня говорят о необходимости своевременного обслуживания и при необходимости замены установленного оборудования. Парк энергетического оборудования обновляется по мере поступления финансовых вложений. Однако, при этом в работе остается морально и физически устаревшее энергетическое оборудование, требующее детального обследования на предмет дальнейшей эксплуатации. Изношенное оборудование может привести к серьезным проблемам: отказы в нормальной работе, создание аварийной ситуации, приводящие к дополнительным ремонтным работам и как следствие дополнительным издержкам.

Состояние изоляции является основным показателем надежности функционирования силовых трансформаторов, генераторов, кабелей и другого оборудования высокого напряжения. Трансформаторы с высоким влагосодержанием не могут выдерживать высокие нагрузки, не подвергаясь риску. Высоковольтные вводы и кабели с высоким значением тангенса угла диэлектрических потерь изоляции при высокой температуре могут получить повреждения из-за «теплового пробоя». При этом необходимо своевременно обнаружить электрооборудование, удовлетворяющее показателям качества [1, 2] и продолжить его эксплуатацию. Прибавка дополнительных лет эксплуатации трансформатору или кабелю позволит значительно сэкономить на единовременных капитальных затратах.

Объем и нормы испытаний электрооборудования регламентируют проводить проверку электрооборудования при разных видах контроля: текущий, плановый, капитальный.

Диэлектрические потери в трансформаторе можно подразделить на: потери в трансформаторном масле и в твердой изоляции.

Диэлектрические потери масла характеризуют качество и степень очистки масел на заводе, а в период эксплуатации – степень загрязнения и старения масла.

Потери в твердой изоляции присущи трансформаторам с масляным и естественным воздушным охлаждением. Они возникают из-за несовершенной конструкции самих трансформаторов, а также из-за применяемых материалов внутренней изоляции, имеющей пористую структуру. В связи с несовершенной конструкцией изоляции

в ней появляются места с повышенной напряженностью электрического поля, в которых затруднена циркуляция масла. Именно в этих местах за счет высокой проводимости масла повышается температура. В результате этого усилено идут процессы старения. Образующиеся при этом продукты в свою очередь повышают тангенс угла диэлектрических потерь (tgδ) масла и твердой изоляции. Эти взаимосвязанные и ускоряющие друг друга процессы, ведущие к локальному перегреву и старению жидкой и твердой изоляции, в конечном счете могут привести к пробою. Поэтому эксплуатация трансформаторов с повышенным tgδ запрещена, а ее выявление является необходимой и достаточной задачей при эксплуатации электрооборудования.

Выражение рассеяния активной мощности диэлектрике можно представить так [4]:

$$P_a = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot tg\delta,$$

где U – приложенное напряжение; ω – круговая частота; С – емкость идеального конденсатора; $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Измерения емкости и tgδ у трансформатора проводятся до и после ввода установки в эксплуатацию тор, а также при проведении периодической проверки. В соответствии с требованиями «Объемы и нормы испытаний электрооборудования» РД 34.45-51.300-97 [3] периодичность таких измерений для вводов:

а) 110-220 кВ – 1 раз в 4 года;

б) 330-750 кВ – 1 раз в 2 года.

Если емкости и тангенс начинают увеличиваться от приемосдаточных значений, то периодичность измерений может быть сокращена до 6 месяцев или менее, когда они становятся критичными или демонстрируют прерывистый тренд.

Поиск надежных диагностических методов ставит ведущих экспертов всего мира перед необходимостью оценивать новые технологии, которые увеличивают надежность и оптимизируют использование энергосети.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, М.П. Плотников

Литература:

1. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004 – 616 с.

2. ГОСТ 3484.3-88 (СТ СЭВ 5266-85) Трансформаторы силовые. Методы измерений диэлектрических параметров изоляции.

3. РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования»
4. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. –М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.

С.В. Першов
Братский государственный университет, г. Братск,
sergei.pershov@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной статье акцент сделан на населенные пункты Братского района Иркутской области: поселки Озерный и Наратай, которые, в силу обстоятельств, оказались отрезанными рекой Ангарой от мощной Восточно - Сибирской энергосистемы, основные элементы которой сосредоточены на левом берегу реки. Строительство высоковольтной ЛЭП в данном районе очень капиталозатратно и экономически нецелесообразно, поэтому в данной местности необходимо использование альтернативных источников энергии, работающих совместно с дизель-генераторной установкой.

Дадим краткую характеристику этих двух поселков.

Озёрный — посёлок в Братском районе Иркутской области России. Административный центр Озёрнинского сельского поселения. Находится вблизи восточного берега Братского водохранилища, примерно в 33 км к юго-востоку от районного центра, города Братска, на высоте 427 метров над уровнем моря. Координаты поселка: 55°52′37″ с. ш., 102°05′03″ в. д. Население поселка Озерный составляет 784 человека. В поселке находится 14 потребителей электроэнергии с суммарной мощностью 134 кВт.

Наратай – посёлок в Братском районе Иркутской области России. Административный центр Наратайского сельского поселения. Находится на берегу Братского водохранилища, примерно в 40 км к востоку от районного центра, города Братска, на высоте 404 метров над уровнем моря. Координаты поселка: 56°07′31″ с. ш., 102°19′28″ в. д. Население поселка Наратай составляет 676 человек. В поселке находится 6 потребителей электроэнергии с суммарной мощностью 54 кВт. Итого общая суммарная мощность потребителей двух этих поселков составила 188 кВт.

Для Восточно-Сибирского региона будем считать продолжительность лета равным 150 суток, а зимний период будет составлять 215 суток. По данным расчетов нами были построены графики нагрузок на зимние и летние сутки для поселков Озерный и Наратай. С учетом всех суммарных нагрузок этих населенных пунктов из расчетов и графиков был определен максимум нагрузок в дневное и вечернее время. Из проявившихся 4-х максимумов за расчетный принимается наибольший. По этому максимуму мы выбрали мощность дизель-генератора для питания этих двух поселков. В ходе расчетов осветительной и бытовой нагрузки жилых домов двух этих поселков была получена максимальная суммарная мощность $P_{\max}$, которая составила 187,502 кВт. После составления графиков суточной нагрузки в летние и зимние сутки по результатам этих графиков был составлен годовой график нагрузки, из которого вычислили время максимальных потерь по формуле:

$$\tau = T_{год} = T_1 + T_2 \cdot \frac{p_2}{P_1} + T_3 \cdot \frac{P_3}{P} + \cdots + T_n \cdot \frac{P_n}{P_1}, \qquad (1)$$

Умножая $P_{\max} = P_1$ на $T_{год}$ получаем значение мощности энергоустановки, необходимой населенному пункту для удовлетворения потребности в электрической энергии всех потребителей в $\text{кВт} \cdot \text{ч}$, которое составило $1013618\ \text{кВт} \cdot \text{ч}$

По полученным данным смогли рассчитать какое количество дизельного топлива необходимо для этих поселков в течение года. Таким образом, нами был предложен дизельный генератор ТСС АД-200С-Т400-1РКМ11 в шумозащитном кожухе мощностью 200 кВт, который производится на базе двигателя TSS Diesel TDK 260 6LTE, предназначенный для использования в качестве основного источника электропитания объектов. К основному преимуществу данного дизельного генератора можно отнести звукоизоляционный кожух и цифровую панель щитовой установки. К основному недостатку данной установки можно отнести дороговизну дизельного топлива, на котором работает эта установка. Поэтому мы предлагаем три вида альтернативных источников энергии, работающих совместно с дизель-генератором.

Первое техническое решение на основе альтернативного источника энергии – это универсальная пиролизная установка Yilong Machinery, которая перерабатывает в жидкое топливо не только древесные отходы, но и отходы из пластика, шины, ковры, бутылки, пакеты и т.д. Проблема мусорных свалок является актуальной на сегодняшний день. Так как они поглощают плодородные земли,

приводят к гибели флоры и фауны, расширяются до ближайших поселений и отравляют людей. Что касается древесных отходов, то в нашем случае пиролизное топливо заготавливается заранее в поселке Озерный, где ведутся лесозаготовки. Это топливо нужно доставлять в поселок Наратай. Для этого нам необходимо учесть переработку в щепу исходной древесной массы в виде сучьев, пней, древесины. Таким образом, для заготовки биотоплива используются два трактора МТЗ-80/82 с тягой в 14 кН, тракторный прицеп с нарощенными бортами для щепы и мобильная рубительная машина. Затраты на комплект этих машин составят 1200 тыс. руб. За рабочий день производится комплексной бригадой около 30 м^3 щепы. Затраты на ее приготовление составляют около 360 руб. за машину/час. Считая работу в одну смену 6 часов, получаем суммарные затраты: 360 руб·6 ч = 2160 руб. Так как расстояние от места заготовки в п. Озерный до п. Наратай около 40 километров, то общие затраты на заготовку 30 м^3 щепы составляют 2560 руб. Тогда стоимость заготовки единицы объема щепы будет равна 2560/30 = 85 руб/м^3. В пересчете на плотные кубометры эта величина составляет 115 руб/м^3. В переводе на условное топливо с учетом влажности древесины имеем 656 руб/т.у.т.

При заготовке из древесной щепы в 30 м^3, учитывая ее плотность и влажность, определяем, что она эквивалентна 3,4 т.у.т. Тогда бригада заготовителей обеспечит годичную работу пиролизной установки за время равное Т = 65 дней.

Таким образом, годовое производство энергии, вырабатываемое пиролизной установкой и переводе их в калории составит 929,816 Гкал

Тогда срок окупаемости универсальной пиролизной установки Yilong Machinery при ее стоимости, равной 6068176 руб. определится по формуле (2) и составит 1,82 года.

$$T_{ок} = \frac{K}{(З_{дизтопл} - З_{древтопл}) - K_{экспл}}, \qquad (2)$$

По итогам наших расчетов годовая экономия денежных средств от покупки древесного и дизельного топлива позволила получить 3942663 руб. В итоге срок окупаемости универсальной пиролизной установки Yilong Machinery составил 1,82 года.

Второе техническое решение на основе альтернативного источника энергии – это солнечная электростанция. При расчете гелиоэнергетического потенциала поселков Озерный и Наратай была получена суммарная солнечная радиация, падающая на наклонную поверхность за весь год, которая составила $Q_{накл} = 1313240$ Вт·ч/м^2. На основе этих расчетов мы выбрали солнечную электростанцию:

Модель SA-5000M. Готовый комплект SA-5000M собирается на российском оборудовании МАП Энергия.

Экономия ГСМ этой солнечной электростанции за ближайшие 11 лет определяется по формуле:

$$Э_t^{ГСМ} = \Delta В_t^{топл} Ц_t^{топл} + \Delta В_t^{м} Ц_t^{м}, \quad (3)$$

Экономический эффект оценивается чистым дисконтированным доходом (ЧДД).

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T} (Э_t^{ГСМ} - И_t)(1+r)^{t_0 - t} - K, \quad (4)$$

Рассчитав чистый дисконтированный доход за 10 лет определим срок окупаемости солнечной электростанции (Таблица 1):

$$\sum ЧДД = -345{,}778 + 10{,}252 + 14{,}543 + 19{,}758 +$$

$$+ 33{,}706 + 42{,}897 + 53{,}942 + +67{,}189 + 83{,}05 = 5{,}637 \; тыс.\ руб.$$

Таблица 1 – Общие показатели эффективности использования солнечной энергии в поселках Наратай и Озерный

Год	*W*, кВт·ч	$\Delta В^{топл}$, т	$\Delta В^{м}$, т	$Ц^{топл}$, тыс. руб/т	$Ц^{м}$, тыс. руб/т	$Э^{ГСМ}$, тыс. руб.	И, тыс. руб	ЧДД, тыс. руб
1	2256,69	0,507	0,0036	40	80	20,599	15,852	-345,77
2	2256,69	0,507	0,0036	54,696	110,39	28,17	17,032	10,252
3	2256,69	0,507	0,0036	64,721	130,44	33,333	18,294	14,543
4	2256,69	0,507	0,0036	76,551	154,1	39,425	19,645	19,758
5	2256,69	0,507	0,0036	90,51	182,02	46,614	21,090	26,076
6	2256,69	0,507	0,0036	106,982	214,96	55,097	22,636	33,706
7	2256,69	0,507	0,0036	126,419	253,83	65,106	24,291	42,897
8	2256,69	0,507	0,0036	149,354	299,7	76,917	26,061	53,942
9	2256,69	0,507	0,0036	176,418	353,83	90,855	27,955	67,189
10	2256,69	0,507	0,0036	208,353	417,7	107,301	29,982	83,05

Таким образом, суммировав чистый дисконтированный доход можно сделать вывод, что положительного значения чистого дисконтированного дохода достигло к десятому году, а это значит, что солнечная электростанция: Модель SA-5000M окупится в течение 10

лет. Таким образом, при работе солнечной электростанции совместно с дизель-генератором марки ТСС АД-200С-Т400-1РКМ11 в шумозащитном кожухе поселки Озерный и Наратай получат прирост энергии, который составляет $W = 1313,24$ кВт·ч.

По имеющимся данным составим энергетический баланс для солнечно-дизель-генераторной электростанции (Таблица 2):

Таблица 2 – Энергетический баланс для солнечно-дизель-генераторной электростанции

Wдэс, кВт·ч	Wсэс, кВт·ч	ΔW, кВт·ч
1013618,14	1313,24	-1012305

Третье техническое решение на основе альтернативного источника энергии – это ветроэнергетическая установка «CONDOR AIR» 60 кВт. Condor Air - 60 кВт (модель CONDOR AIR WES 380/50-60) - это высокотехнологичный ветрогенератор с горизонтальной осью вращения разработанный специалистами компании «EDS Group» и адаптированный для работы в российских климатических условиях. Старт ветроустановки осуществляется при скорости ветра от 2,5 м/с, а на номинал ВЭУ «CONDOR AIR» 60 кВт выходит при 9 м/с, что позволяет использовать их в регионах со слабым и средними ветром. Эксплуатационный температурный диапазон: от -40 до +50 градусов в обычном исполнении и до -55 градусов в исполнении для низких температур.

Экономический эффект оценивается чистым дисконтированным доходом (ЧДД). Расчет ЧДД на второй и последующий годы проводится без учета капитальных вложений.

Показатели расчета ветроэнергетического потенциала для поселков Озерный и Наратай представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Показатели ветроэнергетического потенциала для поселков Озерный и Наратай

Год	*W*, кВт·ч	$\Delta В^{топл}$, т	$\Delta В^{м}$, т	$Ц^{топл}$, тыс. руб/т	$Ц^{м}$, тыс. руб/т	$Э^{ГСМ}$, тыс. руб.	И, тыс. руб	ЧДД, тыс. руб
1	51251,2	225	1,6	40	80	467,821	167,525	-3170,67
2	51251,2	225	1,6	54,696	110,392	639,781	179,321	504,505
3	51251,2	225	1,6	64,72128	130,44256	757,032	191,944	618,596
4	51251,2	225	1,6	76,55111	154,10222	895,388	205,450	754,931
5	51251,2	225	1,6	90,51031	182,02062	1058,648	219,901	917,621
6	51251,2	225	1,6	106,9822	214,96433	1251,295	235,365	1111,52

Рассчитав чистый дисконтированный доход за 6 лет определим срок окупаемости ВЭУ:

$$\sum ЧДД = -3170,67 + 504,5053 + 618,5966 +$$

$$754,9317 + 917,6214 + 1111,524 = 736,505\ тыс.\ руб.$$

Таким образом, суммировав чистый дисконтированный доход можно сделать вывод, что положительного значения чистый дисконтированный доход достигло только к шестому году, а это значит, что ВЭУ «CONDOR AIR» 60 кВт окупится в течение 6 лет. Таким образом, при работе ветроэнергетической установки совместно с дизель-генератором марки ТСС АД-200С-Т400-1РКМ11 в шумозащитном кожухе поселки Озерный и Наратай получат прирост энергии, который составляет $W = 51251,256\ кВт \cdot ч$.

По имеющимся данным составим энергетический баланс для ветро-дизель-генераторной электростанции:

Таблица 4 – Энергетический баланс для ветро-дизель-генераторной электростанции

Wдэс, кВт·ч	Wвэу, кВт·ч	ΔW, кВт·ч
1013618,14	51251,26	-962366,9

Итак, рассмотрев все три технические решения по внедрению альтернативных видов источников энергии в поселках Наратай и Озерный Иркутской области можно сделать вывод, что самым приемлемым и экономически выгодным техническим решением является применение универсальной пиролизной установки Yilong Machinery при работе совместно с дизельным генератором ТСС АД-200С-Т400-1РКМ11 в шумозащитном кожухе. Данная установка поможет решить проблему не только с нехваткой электроэнергии, но и улучшить экологию этих поселков в целом.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.Н. Яковкина

Литература:

1. Использование нетрадиционных способов производства электроэнергии для электроснабжения автономных потребителей в иркутской области: Учебное пособие / А.Н. Емцев, С.А. Зарубина, В.А. Шакиров. – Братск: БрГУ, 2017. - 46 с.

2. Емцев А. Н. Электрическая часть станций и подстанций. Учебное пособие. Братск 2005.−169 с.;

3. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. Издательство 6-е стереотипное. Наука. М; 1974.−254 с.;

4. Швер И. А., Бабиченко В. Н. Климат Братска Гидрометоиздат Л. 1985 – 166 с.;

С.Е. Поздняков, Э.Р. Пермяков
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УСТАНОВКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

К установкам распределенной генерации (РГ) относятся такие объекты, которые располагаются неподалеку от конечного потребителя. Мощность генерирующих установок выбирается исходя из той мощности, которая необходима потребителю с учетом различных ограничений (технологических, правовых, экологических) [1]. На сегодняшний день в нашей стране существуют следующие типы установок распределенной генерации:

1. Газопоршневые и газотурбинные электростанции;
2. Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) в том числе и мини-ТЭЦ;
3. Малые гидроэлектростанции (малые ГЭС);
4. Электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии (солнечные батареи, ветросиловые установки и т.д.);
5. Микротурбинные электростанции.

Подключение устройств распределенной генерации к централизованной системе электроснабжения позволяет исключить недостаток электрической энергии, за счет ее потребления из общей сети [1]. В том случае, если установки вырабатывают избыток электрической энергии, то эта энергия передается в общую сеть. Совместное применение установок распределенной генерации и общей электрической сети позволяет:

1. Снизить потери мощности при передачи электрической энергии от источника к потребителю;
2. Уменьшить число и протяженность воздушных и кабельных линий электропередач, увеличить их пропускную способность;
3. Уменьшить последствия, возникающие при авариях на крупных электрических станциях и на системных линиях, за счет использования собственных источников энергии;

4. Обеспечить совместное резервирование генерирующих мощностей;

5. Снизить уровень негативного влияния на окружающую среду, за счет применения устройств альтернативной энергетики.

В данной статье исследованы режимы работы гипотетической схемы электроснабжения с установками распределенной генерации и без них. Принципиальная схема исследуемой системы электроснабжения изображена на рисунке 1 и содержит следующие электрические элементы:

1. Энергосистема (S);
2. Воздушные линии электропередач (L1 – L6);
3. Силовые трансформаторы (T1, T2);
4. Трехфазные нагрузки (H1 – H5);
5. Малая ГЭС (G1).

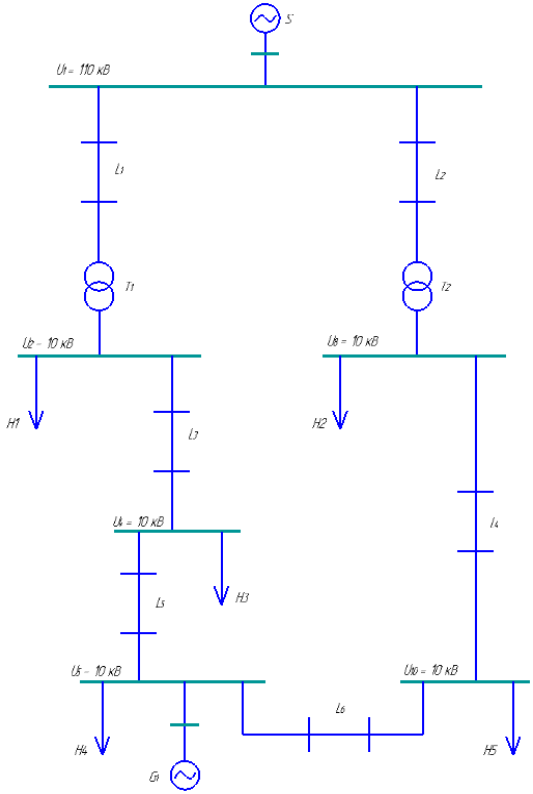


Рис. 1. Принципиальная схема исследуемой электрической сети

В качестве источника распределённой генерации в рассматриваемой схеме электроснабжения используется модель малой ГЭС с тремя гидрогенераторами типа СГ-1000-6В4 УХЛ3 номинальной мощностью $S_н$ = 1 МВА каждый [2]. Моделирование и расчёт установившегося и аварийного режима осуществлялись в системе MATLAB посредством использования блоков SimPowerSystems, имитирующих работу электроэнергетических установок. Имитационная модель малой ГЭС в MATLAB представлена на рисунке 2 [3].

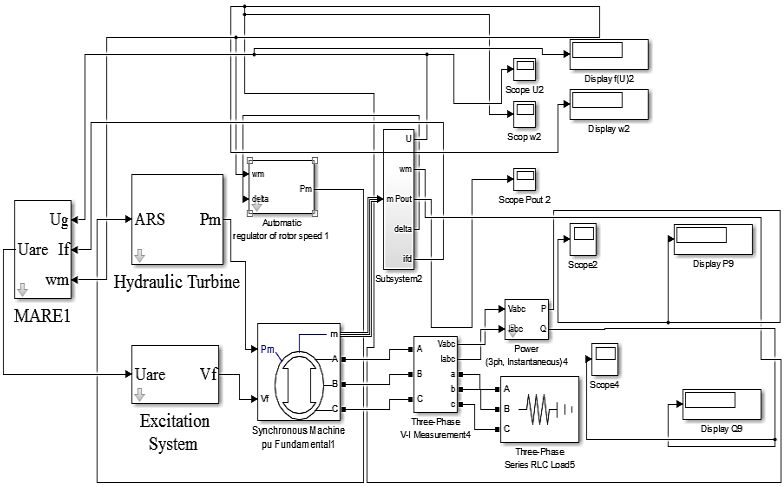


Рис. 2. Имитационная модель малой ГЭС в MATLAB

Расчетная модель малой ГЭС состоит из следующих основных блоков [4]:

1. Модели синхронной машины (Synchronous Machine);
2. Модели гидравлической турбины (Hydraulic Turbine);
3. Модели системы возбуждения синхронного генератора (Excitation System);
4. Модели автоматического регулятора скорости вращения ротора генератора (Automatic regulator of rotor speed);
5. Блока постоянных коэффициентов синхронного генератора (MARE);
6. Трехфазного измерительного блока токов и напряжений (Three-Phase V-I Measurement);
7. Измерительного блока активной и реактивной мощности (Power);

8. Осциллографов (Scope).

Рассмотрим установившийся режим системы электроснабжения.

В среде MATLAB было выполнено моделирование схемы электроснабжения (рис.1) в интервале времени T = 0 – 10 с. Результаты моделирования в виде перетоков активной и реактивной мощности по линиям электропередач представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Перетоки активной и реактивной мощности по линиям электропередач без установки распределенной генерации.

Наименование ЛЭП	Активная мощность, $P_л$, МВт		Реактивная мощность, $Q_л$, МВАр	
	в начале ЛЭП	в конце ЛЭП	в начале ЛЭП	в конце ЛЭП
ВЛ-1	142,28	141,67	84,62	84,38
ВЛ-2	141,0	140,84	83,56	83,09
ВЛ-3	1,441	1,392	0,82	0,79
ВЛ-4	0,91	0,87	0,58	0,54
ВЛ-5	0,95	0,89	0,61	0,57
ВЛ-6	0,225	0,21	0,57	0,51

Таблица 2 – Перетоки активной и реактивной мощности по линиям электропередач с установкой распределенной генерации.

Наименование ЛЭП	Активная мощность, $P_л$, МВт		Реактивная мощность, $Q_л$, МВАр	
	в начале ЛЭП	в конце ЛЭП	в начале ЛЭП	в конце ЛЭП
ВЛ-1	135,54	135,31	76,38	76,22
ВЛ-2	135,57	135,34	78,63	38,46
ВЛ-3	0,618	0,598	0,305	0,288
ВЛ-4	0,417	0,392	0,213	0,194
ВЛ-5	0,48	0,44	0,228	0,203
ВЛ-6	0,17	0,21	0,203	0,185

Из расчетных данных видно, что перетоки активной и реактивной мощности по линиям электропередач с установками распределенной генерации значительно ниже перетоков мощности по тем же линиям без применения данных установок. Также меньше величина потерь передаваемой по ЛЭП мощности. Это говорит о том, что применение установок распределенной генерации позволяет разгрузить линии электропередач, тем самым повысить пропускную способность ЛЭП и снизить потери мощности при передаче электрической энергии от источника к потребителю.

В качестве аварийного режима работы исследуемой системы электроснабжения рассматривалось трехфазное короткое замыкание (КЗ) на шинах малой ГЭС.

Для имитации трехфазное КЗ использовался блок Fault системы MATLAB [4]. Осциллограммы токов, напряжений и частоты вращения ротора генератора малой ГЭС представлены на рис. 3, 4, 5, 6.

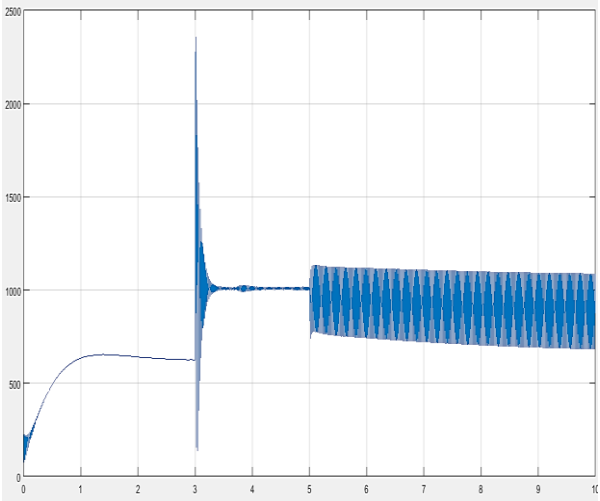


Рис. 3. Действующее значение тока *I* на шинах малой ГЭС до начала и в момент КЗ

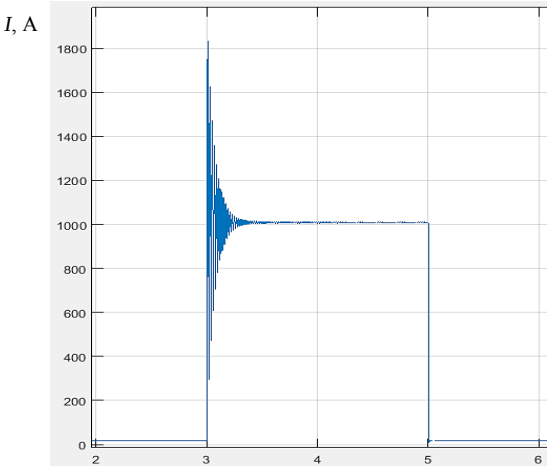


Рис. 4. Осциллограмма действующего значения тока в момент КЗ в схеме без установок распределенной генерации

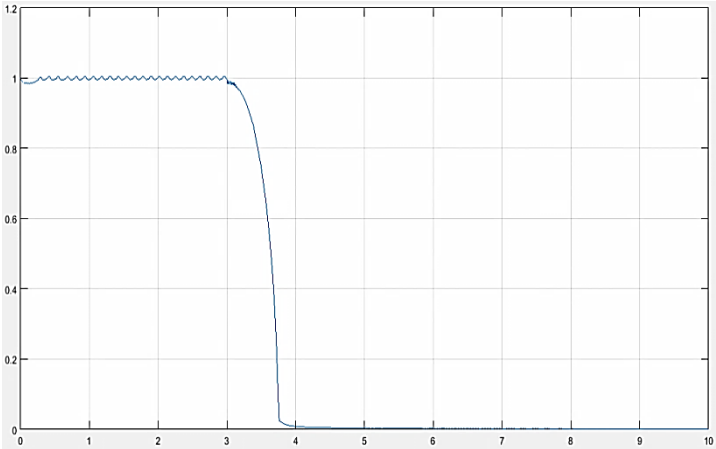


Рис. 5. Осциллограмма скорости вращения ротора синхронного генератора *w* до начала КЗ и в момент КЗ

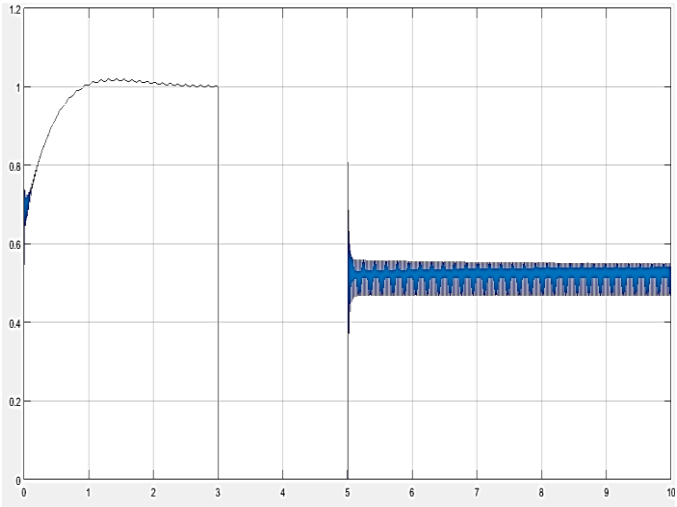


Рис. 6. Осциллограмма напряжения на выводах генератора *U* до начала КЗ и в момент КЗ

По осциллограммам токов короткого замыкания можно сделать вывод, что применение установок распределенной генерации в системе электроснабжения увеличивает максимальное значение тока КЗ. Поэтому при проектировании систем электроснабжения с

установками РГ, в частности, при выборе коммутационного и токоведущего оборудования всегда необходимо учитывать этот факт.

Анализируя осциллограммы скорости вращения ротора синхронного генератора *w* и напряжения на выводах гидрогенератора можно сделать вывод о потере устойчивости синхронного генератора малой ГЭС и необходимости оптимизации настроек регуляторов установки РГ.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Булатов Ю. Н.

Литература:

1. Распределенная генерация. Закрытое акционерное общество «Энергопроект» [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: http://mcep.svpressa.ru/issue/news.php?id=17791 (дата обращения 22.04.2018).
2. Б.Н. Неклепаев, И. П. Крючков. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.: ил.
3. Булатов Ю. Н., Игнатьев И. В. Моделирование гидротурбин и автоматических регуляторов частоты и активной мощности в среде MATLAB // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 4. С. 67–70.
4. И. В. Черных. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб., Питер, 2008 – 288 с.

М.И. Радченко

Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета,

п. Черемушки

margo--1992@mail.ru

ЗАЩИТА ГИДРОЦИЛИНДРА СЕГМЕНТНОГО ЗАТВОРА МАЙНСКОЙ ГЭС

На низконапорных станциях в качестве основных затворов эксплуатационного водосброса чаще используют сегментные затворы в силу того, что его подъемное усилие меньше, чем у плоского из-за криволинейности обшивки. В регионах с суровыми климатическими условиями в зимний период (Сибирь, Дальний Восток) остро стоит проблема обледенения. Опасность обледенения несет в себе возможность отказа маневрирования затвором, что противоречит

требованиям СТО 17330282.27.140.017-2008 [1, с 13], в соответствии с которым затворы водопропускных сооружений должны удовлетворять следующим требованиям:

- прочности и устойчивости конструкции в целом и ее отдельных узлов;
- водонепроницаемости затвора и мест сопряжений его с частями сооружений или мест сопряжений отдельных частей затвора;
- возможности свободного маневрирования в стоячей или текущей воде в зависимости от назначения затвора;
- возможности регулирования пропуска воды (при ее заборе или сбросе) при различных открытиях отверстий без нарушения нормальной работы затвора (для основных регулирующих затворов).

На Майнской ГЭС в отношении обшивки затвора, опорно-ходовых и закладных частей эта проблема решается, в отношении гидроцилиндра – нет. Гидроцилиндр относится к системе управления затвором.

Цилиндр гидравлический (сокр. гидроцилиндр) – это гидравлический двигатель объемного типа, работа которого основана на возвратно-поступательном движении выходного звена. Структурно гидроцилиндры представляют собой емкость, внутри которой находится поршень со штоком (рисунок 1). Движение поршня происходит при увеличении давления рабочей жидкости, за счет увеличения ее количества.

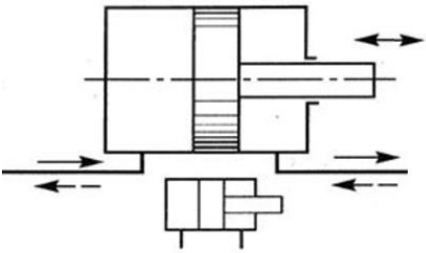


Рис. 1. Принципиальная схема гидроцилиндра

Конструктивно, гидроцилиндр состоит из следующих основных деталей (рисунок 2): гильза, поршень, шток, втулка направляющая, крышка, проушина и опорно-направляющие элементы (манжеты, кольца и др.) [2].

Рис. 2. Конструктивная схема гидроцилиндра

Опасность обледенения заключается в том, что при намерзании льда на штоке (рисунок 3) и последующем обратном ходе можно повредить уплотнения штока. Следствием повреждения может стать не только нарушение нормальной работы затвора, но и разгерметизация гидроцилиндра с утечкой масла из полости штока и нанесением экологического ущерба.

Рис. 3. Обледенение штока гидроцилиндра

Средства защиты от обледенения подразделяются на:

- механические;
- физико-химические;
- тепловые.

Механический способ представляет собой ручную очистку поверхностей. К преимуществам такого способа можно отнести только дешевизну. К недостаткам – трудоемкость, длительность и, самое главное, повреждение оборудования (рисунок 4).

Рис. 4. Последствия ручной очистки поверхности штока гидроцилиндра

Физико-химический способ представляет собой облив защищаемой поверхности специальной жидкостью или иными покрытиями (например, вазелин). Но у этого способа тоже недостатков больше, чем преимуществ. К достоинствам можно отнести простоту. К недостаткам – дороговизна, недолговечность, неэкологичность.

В настоящее время наиболее эффективным способом борьбы с обмерзанием является **электрообогрев** нагревательными элементами.

Виды электрообогрева:

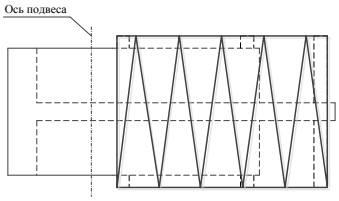
- обогрев теплоносителем;
- обогрев калориферами;
- индукционный обогрев;
- обогрев инфракрасным излучением;
- обогрев ТЭНами;
- обогрев резистивными кабелями или лентами;
-обогрев нагревателями на основе композитного материала «ЭКОМ» (КРМ).

В силу конструктивных особенностей, все эти виды не могут быть применены к гидроцилиндру. Поэтому был предложен вариант системызащиты гидроцилиндра.

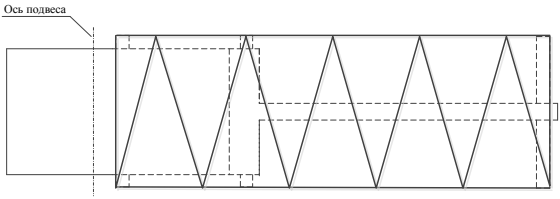
Суть предлагаемой системы защиты состоит в следующем: на гильзу прикрепляются направляющие. На направляющие надевается гофрированная труба из полиуретана (рисунок 5). Такая труба имеет широкий диапазон сжатия-растяжения. Другой конец трубы крепится на конце нерабочей части штока. В случае закрытого гидроцилиндра (шток внутри) гофра находится на гильзе в сжатом положении. В случае открытого гидроцилиндра (шток снаружи) гофра растягивается по всей длине штока, тем самым закрывая его и не позволяя образоваться наледи.

Рис. 5. Гофрированная труба из полиуретана

Схема предлагаемой системы защиты представлена на рисунке 6.



а



б

Рис. 6. Система защиты гидроцилиндра
а – шток внутри, б – шток снаружи

Научный руководитель: ведущий инженер Саяно-Шушенской ГЭС им. П.С. Непорожнего В.С. Архипенко

Литература:

1. СТО 17330282.27.140.017-2008 Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – Введ. 30.07.2008. – Москва : ОАО РАО «ЕЭС РОССИИ», 2008. – 79 с.

2. Устройство гидроцилиндра - работа и принцип действия [Электронный ресурс]: техн. информация / ООО «ГидротехПрофи» [http://gidrotehprofi.ru] – Пермь, 2018. - Режим доступа: http://gidrotehprofi.ru/info.html

В. Е. Репников
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
vitaly.repnikov@yandex.ru

ПРОБЛЕМА НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Полноценная жизнь современного общества немыслима без использования электрической энергии. Возникающие перерывы электроснабжения, в какой-то степени парализуют жизнь общества, порождая массовые недовольства людей.

Электроснабжение определяется двумя факторами — качеством электроэнергии и её надёжностью. Даже самые лучшие системы производства электроэнергии и её распределения не могут быть полностью надёжными источниками высококачественного электропитания. Вырабатываемая электроэнергия проходит долгий путь от электростанции через передающие подстанции к конечному потребителю, и чем дальше от источника, тем больше риск возникновения проблем с качеством и надёжностью электроснабжения.

Надежностью электроэнергетической системы называют свойство осуществлять производство, преобразование, передачу и распределение электроэнергии в целях бесперебойного электроснабжения потребителей в заданном количестве при допустимых значениях показателей качества. [1]

С проблемами электроснабжения потребители сталкиваются тогда, когда начинаются неполадки в работе их электрооборудования, будь то бытовые электроприборы, офисная и производственная техника. Причинами некачественного электроснабжения могут быть: перегруженность линии электропередачи; короткое замыкание или удар молнии; наличие в питающей линии промышленных и бытовых электроприборов с большим импульсным энергопотреблением: аппаратура аргонной сварки, нагреватели, электродвигатели, лазерные принтеры, копировальная техника; некачественная электропроводка в здании;выход из строя оборудования электроподстанций или его неисправность;обрыв линии электропередачии другие причины.

С точки зрения возникающих последствий при перерывах электроснабжения потребителей решающую роль играет внезапность возникновения этих перерывов. Последнее определяется характером работоспособности электрооборудования, используемого в системах электроснабжения. Невзирая на профилактические меры по поддержанию работоспособного состояния электрооборудования и наличия предупредительной сигнализации в процессе эксплуатации систем электроснабжения, возникают внезапные отказы элетроснабжения и отключения части или системы целиком. Возникающий при этом перерыв электроснабжения касается соответствующего круга потребителей, связанного с рассматриваемой системой электроснабжения. Продолжительность перерывов зависит от особенностей повредившегося оборудования, определяющих время, необходимое для восстановления его работоспособного состояния или его замены.

Практически ее решение из-за указанных особенностей расчетных характеристик производится на основании соответствующих нормативных регламентаций, которые устанавливаются экспертным путем с учетом многолетнего опыта формирования и функционирования действующих систем электроснабжения. Регламентация основных требований к надежности электроснабжения потребителей в настоящее время отражена в седьмом издании "Правил устройства электроустановок (ПУЭ-7)". Эти требования относятся к электроприемникам потребителей или в целом к их технологическим процессам.

В соответствии с требованиями электроприемники разделены на три категории.

В качестве основного критерия принято допустимое время внезапного перерыва электроснабжения. В частности, для приемников первой категории перерыв допустим на время действия устройств автоматического переключения питания приемника с основного на резервный источник. Для приемников второй категории рассматриваемый перерыв допустим на время действия оперативного персонала по восстановлению электроснабжения. Для приемников третьей категории величина перерыва допустима на время ремонта повредившегося элемента системы электроснабжения, но не более одних суток.

Для устранения возникших неполадок с электроснабжением потребителей необходимы быстродействующие автоматические устройства, обеспечивающие не только ликвидацию аварий и высокую надежность электроснабжения потребителей, но и осуществляющие

регулирование работы системы при резких изменениях нагрузки. Эти задачи решает противоаварийная система автоматики ПАС, которая включает в себя устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматического включения резервного питания (АВР) и некоторые другие. [2]

1. АПВ — имеет основное применение в электрических системах на тупиковых и транзитных линиях электропередачи. Сущность АПВ заключается в том, что при коротких замыканиях срабатывает релейная защита, дающая команду на отключение линии, а через некоторое время по команде АПВ линия снова включается. Если нарушение режима было неустойчивым или кратковременным, то электроснабжение по этой ЛЭП восстанавливается.

2. АВР действует при исчезновении напряжения, после чего с выдержкой времени производится подключение обесточенных потребителей к резервному источнику питания.

Научный руководитель: старший преподаватель И.Д. Загустина

Литература:

1. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Часть 1. Теоретические основы: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ 2003. – 256 с.

2. Котеленец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник для вузов / Н.Ф. Котеленец, Н.А. Акимова/ под ред. Н.Ф. Котеленца. – М. Академия 2003. – 384 с.

И.И. Садыков, Р.Р. Умутбаев
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань
sad95sad@mail.ru

СПОСОБЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Компенсацией реактивной мощности называют ее выработку или потребление с помощью компенсирующих устройств.

Задача компенсации реактивной мощности (КРМ) состоит в определении количества и мест установки компенсирующих устройств в электрической сети.

Принцип компенсации реактивной мощности заключается в следующем.

Ток, который проходит через конденсатор, опережает приложенное к нему напряжение на угол 90°, а ток, который проходит через катушку индуктивности, отстает от напряжения на угол 90°.

Следовательно, емкостный ток как бы противоположен индуктивному току и реактивная мощность, которая идет на создание электрического поля, противоположна по направлению реактивной составляющей мощности. Поэтому емкостные ток и мощность считаются условно отрицательными по отношению к току и мощности намагничивания, которые условно приняты положительными.

Следует, численно равные реактивные мощности емкости и индуктивности взаимно "вычитаются" ($Q_C - Q_L = 0$) и сеть разгружается от протекания реактивной составляющей тока нагрузки.

Принцип компенсации при помощи емкостного тока поясняет векторная диаграмма на рисунке 1.

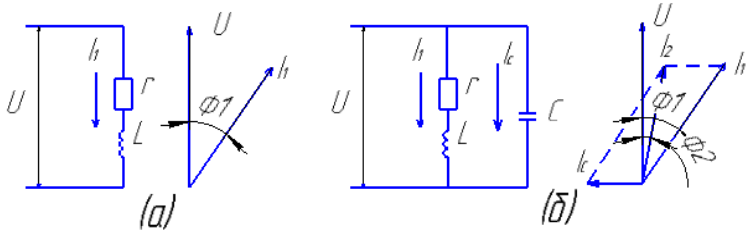


Рис.1. Принцип компенсации реактивного тока намагничивания:
а – схема до компенсации; б – схема с компенсацией

Компенсация реактивной мощности может применяться в нескольких различных целях. Во-первых, компенсация реактивной мощности необходима для баланса реактивной мощности.

Во-вторых, установка компенсирующих устройств(КУ) применяется для уменьшения потерь электрической энергии в сети.

В-третьих, компенсирующие устройства применяются для регулирования напряжения.

«Во всех случаях при применении КУ необходимо учитывать ограничения по следующим техническим требованиям:

1) необходимому резерву мощности в узлах нагрузки;
2) располагаемой реактивной мощности на шинах ее источника;
3) отклонениям напряжения;
4) пропускной способности электрических сетей.»[2].

Для снижения перетоков реактивной мощности по линиям, а также по трансформаторам источники реактивной мощности должны размещаться недалеко от места ее потребления.

Мероприятия, которые проводятся по компенсации реактивной составляющей мощности эксплуатируемых или же проектируемых электроустановок потребителей, могут быть распределены на следующие категории:

1) не требующие использования компенсирующих устройств;
2) требующие использование компенсирующих устройств;
3) которые допускаются в виде исключения.

Мероприятия первой категории направлены на уменьшение потребления реактивной мощности и должны рассматриваться первоначально, так как для их осуществления, обычно, не требуется больших капитальных затрат.

Последние две категории должны обосновываться техническими и экономическими расчетами и использоваться при согласовании с энергосистемой.

Мероприятия, которые связаны с использованием компенсирующих устройств:

1) установка статических конденсаторов;
2) применение синхронных двигателей в качестве компенсаторов;
3) использование статических источников реактивной мощности;
4) использование систем компенсации.

Использованию устройств компенсации реактивной мощности должен предшествовать точный технико-экономический анализ из-за высокой стоимости и значительной сложности этих установок.

Научный руководитель: доцент Р.Г. Исаков

Литература:

1. Кудрин Б.И. «Электроснабжение промышленных предприятий» 2006 г. стр.416

2. В. В. Кузьмин,. И. Г. Кирисов, С. В. Малинин, «Анализ средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях» – М.: «Интермет Инжиниринг», 2006. – 46 с.

Н.К. Санников
Братский государственный университет, г.Братск
feia@brstu.ru

УПРАВЛЯЕМЫЕ ШУНТИРУЮЩИЕ РЕАКТОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Управляемый шунтирующий реактор (УШР) - это новый тип устройства применяемый в электроэнергетике (управляемое оборудование для электрических сетей переменного тока) (рис. 1).

Рис. 1. Управляемые шунтирующие реакторы. 180 Мвар, 500 кВ Иртыш с/с, Россия

УШР представляет собой статическое устройство шунтирующего типа с плавно регулируемым индуктивным сопротивлением. Управляемые шунтирующие реакторы производства ПАО "ЗТР" предназначены для автоматического управления потоками реактивной мощности и стабилизации уровней напряжения, что позволяет:

1. Устранить суточные и сезонные колебания напряжения в электрической сети;
2. Повысить качество электрической энергии;
3. Оптимизировать и автоматизировать режимы работы электрической сети;
4. Снизить потери электрической энергии при ее передаче и распределении;
5. В десятки раз улучшить условия эксплуатации электротехнического оборудования за счет резкого сокращения числа коммутаций нерегулируемых устройств компенсации реактивной мощности и ограничения использования менее надежных в эксплуатации устройств РПН трансформаторов и автотрансформаторов;

6. Увеличить пропускную способность линий электропередачи и обеспечить надежное автоматическое управление уровнями напряжения при перетоках мощности, близких к предельным по статической устойчивости;

7. Устранить "лавины напряжения" при возникновении аварийных ситуаций в электрической сети (например, сброса нагрузки, отключения генератора, линии, простои и т. д.);

8. Обеспечить условия работы генераторов электростанций в таком диапазоне генерации реактивной мощности, который способствует наиболее благоприятным эксплуатационным режимам.

Задачи, решаемые с помощью УШР

1. Увеличение пропускной способности межсистемных связей;
2. Автоматическая стабилизация уровней напряжения;

3. Обеспечение допустимых уровней напряжения при выполнении программ переключений;

4. Оптимизация режимов работы электрических сетей и снижение потерь электрической энергии;

5. Поддержание запасов по напряжению в режимах с большими перетоками активной мощности;

6. Повышение качества электрической энергии;

7. Обеспечение требуемой загрузки генераторов электростанций по реактивной мощности;

8. Снижение числа коммутаций выключателей;

9. Уменьшение числа переключений устройств РПН трансформаторов и автотрансформаторов;

10. Срок окупаемости − от 2 до 5 лет;

11. Цена в 2,5 раза ниже по сравнению с другими компенсирующими реакторами.

Рис. 2. Управляемый шунтирующий реактор 25 Мвар, 110 кВ, село Чурапча, Россия

Рассмотрим принцип работы. Магнитная система одной фазы УШР содержит два стержня (рисунок 3). На каждом стержне размещены обмотки управления и обмотки питания.

В случае регулируемого постоянного тока при подключении источника к обмоткам управления, отклоняющий поток увеличивается и направляется в разные стороны в соседние секции. Это приводит к насыщению сердечников реактора в соответствующих областях.

Насыщение сердечника приводит к возрастанию тока в сетевой обмотке за счет уменьшения индуктивного сопротивления реактора. За счет этого плавное изменение уровней напряжения в точке подключения УШР, а также значение реактивной мощности, потребляемой реактором увеличивается.

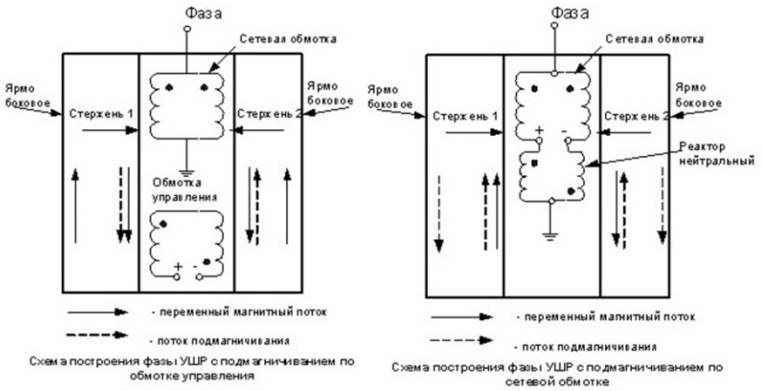


Рис. 3. Схема построения фазы УШР

Основные параметры КСО

1. Диапазон регулирования реактивной мощности – 100%;
2. Регулятор мощности – 1-3% номинальной мощности УШР;
3. Гарантированная скорость набора полной мощности – 0,15–3 с.;
4. Удельная суммарная масса 1,5–3 кг/квар;
5. Удельные потери:
   5.1 Без нагрузки 0,5–1,0 Вт/квар;
   5.2 Номинальные 4-8 Вт/квар.
6. Допустимая перегрузка по току – 120 % (30 мин.);
7. Полностью автоматический режим работы;
8. Уровень надежности, условия эксплуатации и текущего обслуживания соответствуют обычным шунтирующим реакторам.

Преимущества УШР против аналогичного оборудования:

1. Диапазон регулирования составляет 100% номинальной мощности УШР;

2. Бесступенчатое (плавное) регулирование с неограниченным ресурсом возможных изменений;

3. Отсутствие устройств РПН;

4. Возможность нормированной перегрузки УШР до 130% и кратковременной перегрузки до 200%;

5. Регулирование напряжения и реактивной мощности непосредственно в точке подключения;

6. Использование маломощных вентильных устройств с меньшими потерями и отсутствие необходимости в водяном охлаждении;

7. Более низкий уровень потерь: в 1,5–3 раза;

8. Наружная установка;

9. Более низкая цена.

На сегодняшний день осуществлен ряд проектов с постепенным повышением мощности и напряжения сети: 1998-1999 гг. – установка РТУ − 25000 кВА, 110 кВ на подстанции "Кудымкар" (АО Пермьэнерго), 2001 - 2002 гг. – установка РТУ-100000 кВА, 220 кВ на подстанции "Чита" (МЭС Сибири); 2002 г. – изготовление РТУ-180000 кВА, 500 кВ на подстанции "Барановичи", концерн Белэнерго; 2003 г. – введен в эксплуатацию РТУ-180000 кВА, 330 кВ подстанция «Барановичи» концерн «Белэнерго».

Этап нового направления развития управляемых шунтирующих реакторов трансформаторного типа состоялся в Индии компанией BHEL созданием трехфазного реактора напряжением 11 кВ, мощностью 2 Мвар. Потери в нем не превышают потерь в обмотках, а содержание высших гармоник меньше 2% от номинального.

Следующим этапом стало создание промышленного образца управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа 400 кВ, 50 Мвар в 2001 году. Реактор успешно эксплуатируется на промежуточной подстанции линии 400 кВ вблизи г.Итарси в Центральной Индии.

Н.К. Санников
Братский государственный университет, г.Братск
feia@brstu.ru

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Обзор методов оптимизации режимов работы электроэнергетических систем

В настоящее время на практике применяются различные методы оптимизации электроэнергетических систем: метод множителей Лагранжа, метод линейных коэффициентов токораспределения, методы возможных направлений, метод наискорейшего спуска, метод покоординатной оптимизации, метод Ньютона, градиентные методы, генетические алгоритмы. Рассмотрим достоинства и недостатки этих методов.

Метод множителей Лагранжа применяется инженерами для решения задач оптимизации ЭЭС. Этот метод позволяет отыскать условный (относительный) экстремум непрерывной функции f (x1…xn), являющийся максимумом или минимумом при выполнении дополнительных условий в форме равенств Wj=0, j=1…m (уравнений связи).

Задача инженеров заключалась в приспособлении метода Лагранжа к определению наивыгоднейших режимов энергетических установок, в частности к нахождению оптимального распределения нагрузки между несколькими агрегатами.

Достоинства метода множителей Лагранжа:

1. Метод наиболее прост в понимании и организации вычислительного процесса;
2. Относится к числу итерационных методов и имеет наибольшую точность интерполяции;
3. В ходе вычислений происходит малое накопление погрешностей, т.к. в данном методе применяются многочлены невысокого порядка.

Недостатки метода множителей Лагранжа:

1. При увеличении числа узлов и соответственно степени интерполяционный многочлен Лагранжа требуется строить заново;
2. Медленная скорость сходимости, что приводит к значительным затратам машинного времени.

Метод линейных коэффициентов токораспределения применяется для определения потерь активной мощности при передаче электроэнергии. Суть этого метода заключается в том, что ток каждой

ветви сети в рассматриваемом режиме может быть получен как сумма токов частных режимов, в каждом из которых генерация и нагрузка присутствуют только в одном из независимых узлов. Таким образом, число таких частных режимов равно n – числу независимых узлов. Метод требует предварительного определения коэффициентов распределения сети, которые меняются при изменении схемы замещения сети или ее параметров, и поэтому эффективен при многочисленных расчетах установившегося режима сети с неизменной схемой замещения и меняющимися нагрузками узлов. Метод основан на использовании принципа наложения и поэтому при расчете реальных электрических сетей требует предварительного учета шунтов схемы замещения в виде дополнительных нагрузок узлов.

Достоинства метода линейных коэффициентов токораспределения:

1. Найденные коэффициенты распределения позволяют с легкостью рассчитывать установившиеся режимы;

2. Коэффициенты распределения позволяют персоналу энергосистемы оценивать влияние изменения нагрузки в любой точке на величину потока мощности любого участка.

К недостатку метода линейных коэффициентов токораспределения можно отнести большие вычислительные работы по определению коэффициентов распределения.

К методам возможных направлений относятся: метод Зойтендейка, метод проектируемых градиентов и метод приведённых градиентов. Идея методов возможных направлений (МВН) заключается в том, что в каждой очередной точке находится направление спуска такое, что перемещение точки по этому напра влению на некоторое расстояние не приводит к нарушению ограничений задачи. Таким образом, МВН можно рассматривать как естественное распространение метода градиентного спуска на задачи минимизации с ограничениями.

Методы возможных направлений имеют линейную скорость сходимости, относятся к классу итерационных методов.

Достоинства МВН:

1. Малый объем вычислений на каждом шаге;

2. Для нахождения направления спуска достаточно решить задачу линейного программирования с небольшим числом ограничений.

К недостатку МВН можно отнести то, что при неудачно заданных значениях параметров, возможно большое количество шагов оптимизации и, следовательно, большой объем вычислений.

Метод наискорейшего спуска является нелинейным итерационным методом. Параметры метода на каждом шаге выбираются в зависимости от полученного приближения. Идея метода наискорейшего спуска заключается в следующем: градиент целевой функции f(X) в любой точке – есть вектор в направлении наибольшего возрастания значения функции. Следовательно, антиградиент будет направлен в сторону наибольшего убывания функции и является направлением наискорейшего спуска. Антиградиент (и градиент) ортогонален поверхности уровня f(X) в точке X.

Методы наискорейшего спуска обеспечивают быструю сходимость итерационного процесса, и поэтому получили широкое распространение в практическом применении.

Метод покоординатной оптимизации (Гаусса-Зейделя) относится к регулярным методам выбора направления. По данному методу на координатной плоскости отмечается произвольная точка. Затем определяются координаты этой точки. Суть алгоритма в том, что в качестве возможных направлений используются орты исходной схемы координат. При этом N шагов по всем независимым переменным образуют внутренний цикл. Это означает, что на первом итерационном шаге минимизируется целевая функция F(x) при изменении только первой переменной, а все остальные переменные остаются неизменными. Применительно к электроэнергетике оптимизируемыми параметрами могут служить, например, мощности ТЭС, а целевой функцией – суммарный расход топлива в энергосистеме, что позволяет оптимизировать режим электростанций.

К градиентным методам оптимизации относятся: метод градиента, метод Франка-Вулфа, метод штрафных функций и др. Данные методы относятся к приближенным (итерационным) методам. С их помощью можно решать практически любые задачи оптимизации. В градиентных методах, в отличие от методов покоординатной оптимизации, направление движения меняется на каждом шаге и соответствует направлению наискорейшего убывания целевой функции, то есть направлению ее антиградиента.

Применительно к электроэнергетике в качестве целевой функции может выступать суммарный расход топлива (при оптимизации режима электростанций), суммарные потери активной мощности при передаче (при оптимизации режима сети; в этом случае оптимизируемые параметры – модули и фазы узловых напряжений, мощности компенсирующих устройств в узлах, напряжение в центре питания) и т.д.

Программное обеспечение градиентных методов значительно сложнее, а объем вычислений значительно больше, чем при использовании метода покоординатной оптимизации. Однако в сочетании с методом наискорейшего спуска сходимость градиентных методов значительно лучше.

Метод Ньютона относится к градиентным методам второго порядка. Использование в данном методе квадратичной аппромиксации позволяет повысить скорость сходимости однотипных решений. Сущность метода заключается в следующем: искомая целевая функция замещается (аппроксимируется) в точке начального приближения полиномом второй степени, совпадающим в данной точке с самой целевой функцией, а также по значениям ее первой и второй производных, затем отыскивается экстремум функции аппромиксации. В настоящее время компьютерные программы используют метод Ньютона при решении оптимизационных задач в энергетике.

Достоинства метода Ньютона:

1. Быстрая сходимость и малое (не более 10) количество итерационных шагов, что позволяет быстро найти решение задачи;

2. Является основой большинства эффективных методов в линейном и нелинейном программировании.

К недостаткам метода Ньютона можно отнести трудности с вычислением матрицы Гессе.

Применение генетического алгоритма для решения задач оптимизации режима работы электроэнергетической системы

Генетический алгоритм (ГА) является особым видом стохастического метода поиска, в котором биологическая эволюция лежит в основе методики решения задачи. Область поиска для ГА называется популяцией, элементами которой являются хромосомы. Алгоритм начинается со случайной выборки совокупности допустимых решений из всей популяции. Каждая хромосома при этом уже является сама по себе решением. ГА использует методику адаптивного эвристического поиска, которая выбирает совокупность наилучших решений среди всей популяции. Операции селекции, скрещивания и мутаций позволяют получить новые особи Более приспособленные хромосомы переходят в следующее поколение. Менее сильные особи имеют меньшие шансы на это перемещение. Процесс повторяется до момента получения наиболее приспособленного решения задачи.

К особенностям, определяющим эффективность применения ГА в оптимизационных задачах электроэнергетики, можно отнести

следующее: лёгкая программируемость; отсутствие каких-либо дополнительных требований, предъявляемых к математической модели задачи в виде непрерывности, дифференцируемости и унимодальности критерия оптимизации; отсутствие необходимости в вычислении производных целевой функции; возможность учёта технических ограничений любого вида; поиск решения не из единственной точки, а из некоторой популяции; принципиальная возможность применения данного подхода совместно с другими, как традиционными, так и новыми методами расчёта; быстрая генерация достаточно «хороших» в смысле оптимальности решений.

Выбор метода кодирования является важным этапом применения ГА для решения оптимизационных задач в электроэнергетике. ГА, реализованный в системе MATLAB, использует метод вещественного кодирования, при котором отдельный ген представляет собой один из искомых параметров в виде вещественного числа, а их совокупность – хромосому, т.е. возможный набор решения задачи.

Генетический алгоритм может использоваться для решения различных оптимизационных задач электроэнергетики и находить глобальный оптимум в отличие от классических методов оптимизации. Например, предлагаемый в работах метод оптимизации настройки регуляторов турбогенераторов использует ГА, реализованный в специализированном программном комплексе.

А.В. Скорый, Л.А. Ефименко
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ПОСЕЛКЕ НАРАТАЙ БРАТСКОГО РАЙОНА

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 года, существенная роль отводится развитию использования возобновляемых источников энергии и энергоносителей.

Экономический потенциал солнечной энергии в России составляет порядка 2,5 млн. тонн условного топлива [1]. Естественной сферой применения солнечных установок являются зоны децентрализованного тепло- и электроснабжения [1], площадь которых оценивается в 60% территории страны.

Суммарная солнечная радиация, поступающая на наклонную плоскость, включает три составляющие:

$$Q_{накл} = S_{накл} + D_{накл} + R_{накл}, \quad (1)$$

где $Q_{накл}$ – суммарная солнечная радиация, падающая на наклонную поверхность, Вт/м^2; $S_{накл}$ – прямое солнечное излучение, падающее на наклонную поверхность, Вт/м^2; $D_{накл}$ – рассеянное солнечное излучение, поступающее на наклонную поверхность, Вт/м^2; $R_{накл}$ – отраженная от земной поверхности радиация, Вт/м^2.

Рассмотрим методику расчета прямой солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность.

Значение Sнакл определяется в соответствии с выражением:

$$S_{накл} = S_{орт} \cos\theta, \quad (2)$$

где $S_{орт}$ – прямое солнечное излучение на ортогональную лучам плоскость, Вт/м^2; θ – угол падения прямого солнечного излучения на поверхность, рад.

Значение $S_{орт}$ определяется по формуле Кастрова [2]:

$$S_{орт} = \frac{S_0 \sin\alpha}{\sin\alpha + c}, \quad (3)$$

Оценка рассеянной радиации проводилась по анизотропной модели Клачера [3].

Рассмотрим модель оценки отраженной радиации, поступающей на наклонную поверхность. Для расчета отраженной радиации в большинстве исследований используют изотропную модель:

$$R_{накл} = \frac{Q_{гор} A_k (1 + \cos\beta)}{2}, \quad (4)$$

где A_k – альбедо земной поверхности, о.е.

Суммарная радиация на горизонтальную поверхность $Q_{гор}$ можно определить по формуле:

$$Q_{гор} = S_{гор} + D_{гор}, \quad (5)$$

где $S_{гор}$ – прямая радиация на горизонтальную поверхность, Вт/м^2.

$$S_{гор} = S_{орт} \sin\alpha \quad (6)$$

Рассеянная радиация на горизонтальную поверхность $D_{гор}$ можно определить по формуле Берлаге:

$$D_{гор} = \frac{1}{3}\left(S_0 - S_{орт}\right) \cdot \sin\alpha, \quad (7)$$

Расчет солнечной радиации проводился в Excel, в качестве исходных данных использовались координаты поселка, данные о среднемесячных значениях прозрачности атмосферы и альбедо поверхности.

Результаты оценки солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе

Период	Прямая радиация, кВт·ч/м^2	Рассеянная радиация, кВт·ч/м^2	Суммарная радиация, кВт·ч/м^2
Январь	20,849	9,394	30,243
Февраль	42,795	13,819	56,615
Март	96,450	23,536	119,986
Апрель	150,726	31,757	182,482
Май	207,153	39,364	246,516
Июнь	218,416	42,826	261,243
Июль	213,963	42,501	256,464
Август	174,902	35,117	210,019
Сентябрь	116,888	24,362	141,250
Октябрь	64,013	16,899	80,912
Ноябрь	26,730	9,975	36,705
Декабрь	14,795	7,571	22,365
Год	1347,681	297,120	1644,801

Результаты оценки солнечной радиации на наклоненную под углом 56 градусов поверхность при ясном небе представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета солнечной радиации на наклоненную под углом 56 градусов поверхность при ясном небе

Период	Отраженная радиация, кВт·ч/м^2	Прямая радиация, кВт·ч/м^2	Рассеянная радиация, кВт·ч/м^2	Суммарная радиация, кВт·ч/м^2
Январь	4,999	99,454	12,808	117,261
Февраль	9,483	129,932	18,364	157,780
Март	18,512	185,757	28,544	232,812
Апрель	13,273	194,756	33,979	242,008
Май	8,693	201,384	38,450	248,527
Июнь	9,788	187,282	40,387	237,457
Июль	9,609	194,560	40,706	244,875
Август	7,869	200,762	36,135	244,766
Сентябрь	5,292	193,006	28,268	226,567
Октябрь	5,885	165,315	21,948	193,148
Ноябрь	5,259	112,249	13,636	131,144
Декабрь	3,697	86,961	10,261	100,919
Год	102,360	1951,419	323,486	2377,265

Результаты расчета позволяют сделать вывод о достаточно высоком гелиоэнергетическом потенциале. Необходимо дальнейшее исследование влияния облачности на солнечную радиацию, после которого могут быть получены оценки чистого дисконтированного дохода или дисконтированной окупаемости проектов использования солнечной энергии в п. Наратай Братского района.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Шакиров

Литература:

1. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / под ред. Безруких П. П. – Москва: ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с.

2. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 234с.

3. Стадник В.В., Горбаренко Е.В., Шиловцева О.А., Задворных В.А. Сравнение вычисленных и измеренных величин суммарной и рассеянной радиации, поступающей на наклонные поверхности, по данным наблюдений в метеорологической обсерватории МГУ // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2016. № 581. С. 138-154.

В.В. Скутарь, И.Д. Загустина
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
skutar3@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ПОДСТАНЦИЙ

Оперативный ток (ОТ) на подстанциях служит для питания вторичных устройств, к которым относятся оперативные цепи защиты, автоматики и телемеханики, аппаратура дистанционного управления, аварийная и предупредительная сигнализация. Оперативный ток используется также для питания различных вспомогательных реле в схемах релейной защиты и автоматики.

При нарушениях нормальной работы подстанции оперативный ток используется также для аварийного освещения и электроснабжения электродвигателей системы собственных нужд. Основное требование, предъявляемое к источникам ОТ – это постоянная готовность к действию при любых условиях, включая

моменты КЗ, при которых возможно большое падение напряжение на секциях шин подстанций, а так же другие тяжелые режимы работы электроэнергетического комплекса. Источники оперативного тока должны быть всегда готовы к действию и обеспечивать необходимое напряжение или ток в обмотках включающих и отключающих электромагнитов. [2]

В настоящее время широкое распространение получили следующие системы оперативного тока на подстанциях:

1. Постоянный оперативный ток
2. Переменный оперативный ток
3. Выпрямленный оперативный ток

Рассмотрим каждую из перечисленных систем и выделим основные преимущества и недостатки их применения.

1. Постоянный оперативный ток представляет собой систему питания оперативных цепей, при которой источником питания применяется аккумуляторная батарея. Источником питания являются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи с зарядными устройствами напряжением 110 или 220 В, а на малых подстанциях — 24 или 48 В.

Выделим основные достоинства применения постоянного оперативного тока на подстанциях:

1) Простой, автономный и независимый источник тока, работа которого не зависит от состояния основной системы;

2) Возможность работы при одном замыкании на землю одного из полюсов при сохранении междуполюсного напряжения.

Определим основные недостатки при применении постоянного оперативного тока:

1) Определенная сложность выполнения защиты от повреждений в цепях постоянного тока;

2) Стационарные аккумуляторные батареи должны устанавливаться в специально предназначенных помещениях; [1]

3) Требуется специальный высококвалифицированный обслуживающий персонал;

2. Переменный оперативный ток - система питания оперативных цепей, при которой в качестве основных источников питания используются измерительные трансформаторы тока (ТА) защищаемых присоединений, измерительные трансформаторы напряжения (TV), трансформаторы собственных нужд (ТСН). В качестве дополнительных источников питания импульсного действия используются предварительно заряженные конденсаторы. [3]

Для защиты различных от коротких замыканий (КЗ) наиболее надежным источником оперативного тока являются ТА, так как при протекании тока КЗ ток вторичной обмотки ТА способен обеспечить надежное отключение выключателя. TV в этом случае не может служить надежным источником оперативного переменного тока, так как при КЗ резко снижается напряжение на шинах подстанции.

В другом случае, для оперативного управления в нормальных рабочих режимах ТА не применимы, ибо от них невозможно получить необходимый для подобных случаев уровень мощности.

ТСН, в отличие от ТА, нельзя использовать для питания оперативных цепей во время протекания тока КЗ, так как происходит снижение напряжения на шинах подстанции, однако они прекрасно подходят для управления коммутационными аппаратами в нормальных рабочих режимах и близких к ним режимам.

Исходя из выше перечисленных особенностей, можно сделать вывод, что каждый из источников переменного тока обладает ограниченной областью применения с возможностью использования только в качестве источника, так называемого, индивидуального децентрализованного питания.

3. Выпрямленный оперативный ток - это система питания оперативных цепей переменным током, в которой переменный ток преобразуется в постоянный (выпрямленный) с помощью блоков питания и выпрямительных силовых устройств. Блоки делятся на токовые (БПТ), напряжения (БПН) и комбинированные, состоящие из БПТ и БПН, работающих параллельно на стороне выпрямленного напряжения. [4]

Выделим следующие достоинства схем с блоками питания выпрямленным током и напряжением:

1) Возможность индивидуального обеспечения питания оперативным током одного защищаемого присоединения (однако, при значительном числе присоединений экономически целесообразным оказывается групповое питание);

2) Возможность применения защитной аппаратуры, изготовляемой для установок в системы постоянного оперативного тока с аккумуляторными батареями.

Недостатки схем с блоками питания выпрямленным напряжением и током:

1) Недостаточная мощность для питания катушек включения электромагнитных приводов (обычно осуществляется от выпрямительных блоков, питаемых от трансформаторов собственных нужд подстанции);

2) Невозможность использования для минимальных защит напряжения в системах релейной защиты и автоматики.

На современном этапе развития электроэнергетического комплекса применяется множество систем питания оперативных цепей подстанций. Стоит отметить, что все выше перечисленные системы удовлетворяют основным требованиям источников оперативного тока – надежность и безотказность действия, однако область их применения индивидуальна.

Научный руководитель: старший преподаватель И.Д. Загустина

Литература:

1. Помещения аккумуляторных батарей, требования к ним (строительная, санитарно-техническая часть) (ПУЭ - 4.4.26.-4.4.38., 4.4.40.-4.4.46.; ПТЭЭП - 2.10.5.; IV-V гр.).

2. Красник В. В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. — М.: ЭНАС, 2011.

3. Лезнов С. И., Фаерман А. Л., Махлина Л. Н. Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

4. РЗиА. Оперативный ток [Электронный ресурс]. – URL: http://treugoma.ru/protection/operativnyi-tok/ (дата последнего обращения 17.04.2018)

А.А. Смолярская, Н.А. Краева, Д.Е. Бахмисов, А.С. Угодин
Братский государственный университет, г. Братск
smolyarskaya.anzhelika@yandex.ru

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электроэнергетика должна обеспечивать высокую эффективность выработки, транспортировки и потребления энергии. В большинстве промышленно развитых стран мира ведутся интенсивные исследования и разработка новых видов электротехнических устройств на основе сверхпроводников. Использование высокотемпературных сверхпроводников - глобальный тренд для ряда отраслей промышленности, в том числе и энергетики. В настоящие время в основном используются кабельные линии переменного тока. Однако начали появляться новинки в использовании высокотемпературных сверхпроводящих кабельных линий постоянного тока (ВТСПТ).

ВТСПТ имеют ряд преимуществ по сравнению с линиями переменного тока:

1) ограничение токов короткого замыкания, что позволяет соединить по низкой стороне отдельные секторы энергосистемы без увеличения токов короткого замыкания;

2) повышение устойчивости сети и предотвращение каскадных отключений потребителей за счет взаимного резервирования энергорайонов;

3) регулирование распределения потоков мощности в параллельных линиях;

4) передача мощности с минимальными потерями в кабеле и, как следствие, снижение требований к криогенной системе;

5) возможность связи несинхронизированных энергосистем.

Анализ кабельной продукции показал, что на данный момент времени ВТСПТ-кабели имеют два типа конструкции, принципиально отличающиеся друг от друга:

- ВТСПТ-кабели с холодным диэлектриком (CD);
- ВТСПТ-кабели с теплым диэлектриком (RTD) [1].

В кабеле с холодным диэлектриком (рис.1) элемент кабеля окружен коаксиальным сверхпроводящим слоем, предназначенным для экранирования магнитного поля. Диэлектрик, «пропитанный» жидким азотом, располагается между токопроводящей жилой из ВТСП-материала и внешним экранирующим слоем. Преимуществом такой конструкции является возможность устранения потерь на переменном токе, вызванных воздействием магнитного поля, создаваемого токами в соседних фазах, а также вихревыми токами, наведенными в металлических частях соседнего оборудования.

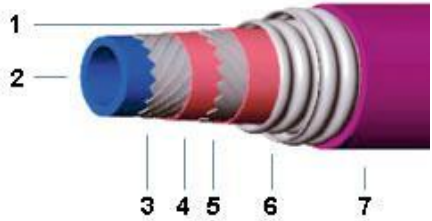


Рис. 1. Конструкция ВТСПТ-кабеля с холодным диэлектриком (RTD): 1,2 – жидкий азот; 3 – ВТСПТ-токопроводящая жила; 4 – диэлектрик; 5 – ВТСПТ-экран; 6 – криостат; 7 – оболочка.

В кабелях с теплым диэлектриком (рис.2) нет такого сверхпроводящего слоя. Данная конструкция требует меньшего расхода сверхпроводящего материала, в ней применяются обычные

изоляционные материалы, поэтому стоимость этих кабелей существенно ниже. Так как кабель с теплым диэлектриком конструктивно сходен с обычным кабелем, то при его изготовлении, монтаже и соединении можно использовать многократно проверенные технологии. Однако ВТСПТ-кабель с теплым диэлектриком по техническим свойствам уступает ВТСП-кабелю с холодным диэлектриком.

Рис.2. Конструкция ВТСП-кабеля с теплым диэлектриком (RTD): 1 – жидкий азот; 2 – ВТСПТ-токопроводящая жила; 3 – криостат, 4 – диэлектрик; 5 – экран и оболочка.

Многообещающие перспективы практического применения высокотемпературной сверхпроводимости дали жизнь множеству интереснейших проектов. В настоящее время один из таких проектов был проведен федеральной сетевой компанией Единой энергетической системы (ФСК ЕЭС), заключающийся разработке и установке сверхпроводящей линии постоянного тока мощностью 50 МВт между двумя городскими подстанциями 330/20кВ «Центральная» и подстанцией «РП-9» 220/20кВ. ФСК ЕЭС успешно построила и испытала крупнейшую в мире сверхпроводящую кабельную линию длиной 2,5 километра на основе высокотемпературного сверхпроводника $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+x}$ с критической температурой в -165 градусов Цельсия. Охлаждать проводник до сверхпроводящего состояния в такой линии можно жидким азотом, для чего над слоем изоляции в кабеле есть две трубы, между которыми циркулирует охлаждающая жидкость. Система охлаждения для 2,5-километрового кабеля потребляет 250 кВт, при этом линия рассчитана на ток в 2500 А и напряжение 20 кВ [2].

Анализ информации свидетельствует о том, что высокотемпературные сверхпроводящие кабели с сравнении с традиционными кабелями имеют существенные преимущества: большая пропускная способность при использовании более низкого класса номинального напряжения, меньшие потери, меньший вес, компактность, пожаробезопасность, экологичность и др. [3].

В мегаполисах использование ВТСПТ КЛ позволит осуществлять более гибкую планировку застройки и расположения центров потребления за счет наращивания мощности по мере развития районов без необходимости прокладывания дополнительных линий, а также понизить класс напряжения при передачи большой мощности.

Учитывая преимущества ВТСПТ–кабелей и интенсивность исследований и разработок в области ВТСПТ – технологий следует ожидать, что в ближайшее время ВТСПТ-кабели будут все более широко использоваться для глубокого ввода электроэнергии в крупные мегаполисы и энергоемкие комплексы, для замены отслуживших свой срок кабельных линий традиционного исполнения при необходимости увеличения передаваемой мощности и при повышенных требованиях с точки зрения пожаробезопасности и экологии, а также для вывода мощности от крупных электростанций и для преодоления больших водных преград.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.Н. Яковкина

Литература:

1. Сверхпроводящие кабели [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/tur-bo?text=http://pue8.ru/kabelnye-linii/134-sverhprovodyaschie-kabeli.html&fallback=1

2. Завершен основной этап испытаний крупнейшей в мире высокотемпературной сверхпроводящей кабельной линии. [Электронный ресурс]. – URL: https://m.aftershock.news/?q=node/611429&full

3. Сытников В. Е., Рябин Т. В., Сорокин Д. В. Высокотемпературные сверхпроводящие кабельные линии постоянного тока – шаг к умным электросетям // Некоммерческое партнерство инженеров. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6510

А.В. Трофимов, И.Д. Загустина
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
chkalovur86@mail.ru

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОВОДОВ С НЕСТАНДАРТНЫМИ ФОРМАМИ ПРОВОЛОК

Основная доля всех повреждений на линиях электропередач составляет гололедообразование и ветровые нагрузки. Из производимых проводов наилучшие механические характеристики достигаются у проводов с нестандартными формами проволок (компактные провода).

С этой целью проведем оценку их общего механического поведения, удлинения, способности к подвешиванию, коэффициента аэродинамического сопротивления, а также чувствительности и сопротивлению вибрации проводов под действием ветра.

Общие механические повреждения проводились для проверки предела прочности при растяжении, и определения поведения концевых и соединительных участков проводов при воздействии на них растягивающих усилий. Все провода выдержали испытания. Разрушение проводов произошло при нагрузках значения, которые превышали значения, приведенные в стандарте NFC 34-125.

Испытания удлинения проводника (которые обычно не проводятся), использовались два стенда для испытаний на удлинение; первый работал при температуре 20°С, второй допускал регулировку температуры в пределах от 20 до 1 00°С. Проведены различные виды испытаний, в том числе одно в соответствии со стандартом IEC 1345. Компактные провода показали поведение, одинаковое с используемыми в настоящее время проводами.

Провода подвергались циклическим изгибающим нагрузкам, которые помогли сымитировать напряжения, возникающие в процессе натяжения и подвешивания проводов, и использовались для оценки состояния наружных слоев гладких проводов. Также проводились испытания обычных проводов. Провода с круглыми проволоками выдержали испытания. Однако наружный слой одного из компактных проводов был немного поврежден.

Все испытания, которые были связаны с сопротивлением ветровым нагрузкам проводов проводились в аэродинамической трубе сечением 2 х 3 м Национального исследовательского центра в Оттаве. Эти испытания проводились с использованием полномасштабных моделей, изготовленных из последнего повива проволок каждого из проводов, туго намотанных на стальной сердечник. Как показано на

рисунке 1, каждая кривая, представляющая коэффициент аэродинамического сопротивления (Cd) в функции от скорости ветра и имеет следующие особенности: на первом участке при малых скоростях ветра имеется плато в диапазоне значений Cd от 1,1 до 1,3; следом идет четко выраженный спад, завершающийся минимальным значением Cd, а затем медленный рост при более высоких скоростях ветра. Испытания показали, чем глаже проводник, то минимальное значение Cd отмечается при более высоких скоростях ветра.

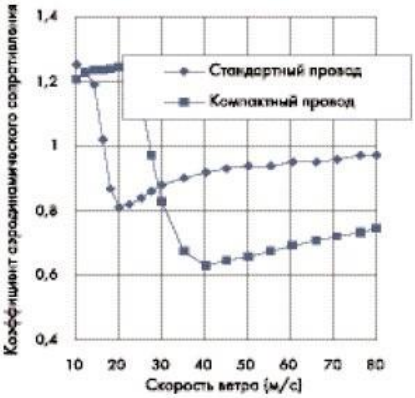


Рис.1. Коэффициенты аэродинамического сопротивления для компактного провода и стандартного провода

В приведенном на рисунке 2 стандартный провод с круглыми жилами имеет минимальное значение Cd на уровне 0,8 при скорости 20 м/с; в то время как более гладкий компактный проводник имеет меньшее значение Cd = 0,63, но при скорости 37 м/с. Однако характерные для каждого провода кривые пересекаются примерно при 28 м/с, и компактный провод демонстрирует меньшие значения Cd при больших скоростях.

Восприимчивость проводов к вызванным ветром вибрациям определяется двумя основными факторами: их способностью воспринимать энергию ветра, передаваемую низкочастотными вихревыми потоками, и их способностью рассеивать эту энергию, которая определяется их параметрами самозатухания. Сопротивление проводов аэродинамическим вибрациям определяется их способностью выдерживать такие вибрации, то есть их усталостной долговечностью. Для оценки передачи энергии ветра различным проводами специальные испытания не проводились, поскольку предполагалось, что гладкость наружной поверхности оказывает

незначительное воздействие на такую передачу. Однако считалось важным, что провода характеризуются их демпфирующей способностью, общей восприимчивостью к вызываемым ветром вибрациям и усталостной долговечностью.

Измерение демпфирования проводилось для каждой линии при 15, 20 и 25% от предела прочности при растяжении соответственно. В дополнение к этому, цель состояла в оценке конструкционного демпфирования, и результаты были откорректированы для исключения аэродинамического демпфирования, которое может преобладать на более низких частотах. Шесть установленных параллельно проводов были подвергнуты трем последовательным сериям испытаний, каждая из которых длилась шесть недель вслед за установленными процедурами: Первая с проводами, натянутыми до 15% от предела прочности без использования каких-либо противовибрационных устройств, вторая с проводами, натянутыми до 20% от предела прочности с использованием противовибрационных устройств и, последняя третья с проводами, натянутыми до 25% от предела прочности сначала без использования каких-либо противовибрационных устройств, а затем с их использованием.

Например, на рисунке 2 показан график, отражающий границы диапазонов максимальной амплитуды изгиба, зафиксированной в подвесных зажимах на компактном проводе и на соответствующем стандартном проводе, причем каждый из них не снабжен противовибрационным устройством, при растягивающем усилии 15% от предела прочности при растяжении. Можно наблюдать, что уровни вибрации на компактном проводе составляют примерно половину отмечаемых на стандартном проводе. Вибрации таковы, что новый провод не требует применения каких-либо противовибрационных устройств, что нельзя сказать о стандартном проводе.

Вообще говоря, характер вибраций незащищенных проводов на испытательной линии адекватно отражает установленные в лаборатории демпфирующие свойства. Также было показано, что компактные провода, могут быть защищены стандартными противовибрационными устройствами, как и обычные провода.[1]

В общем случае испытания, проведенные как часть данного анализа, показали, что компактные провода часто имеют превосходящие или эквивалентные рабочие характеристики по сравнению с традиционными проводами с круглыми проволоками показали, что компактные провода часто имеют превосходящие или эквивалентные рабочие характеристики по сравнению с традиционными проводами с круглыми проволоками.

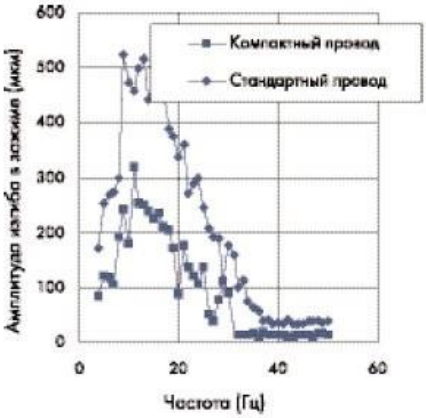


Рис.2. График, отражающий границы диапазонов максимальной амплитуды изгиба, зафиксированной на компактном и стандартном проводе

Научный руководитель: старший преподаватель И.Д. Загустина

Литература:

1. J.M. Michalak, «Повышение пропускной способности существующих воздушных ЛЭП», труды конф. Power Delivery 97 Europe, Мадрид, стр. 41 1-420.

Р.С. Тупия
Лысьвенский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Лысьва
tupia.rom4uK@yandex.ru

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ

Автоматизированная система управления (АСУ) – система аппаратных и программных средств, а также персонала, направленная на управление разнообразными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия. Автоматизированные системы применяются в различных отраслях

промышленности, энергетике и т.п. Функции АСУ устанавливаются на основе анализа целей управления, заданных ресурсов для их достижения, ожидаемого эффекта от автоматизации и в соответствии со стандартами, распространяющимися на данный вид АСУ. Функции АСУ реализуется объединением комплексов задач, отдельных задач и операций. Функции в общем случае включают в себя следующие действия: планирование, учет, контроль, анализ, регулирование и прогнозирование. Необходимый состав действий выбирается в зависимости от вида конкретной АСУ. Необходимость автоматизированных систем управления определена следующими причинами:

− увеличение производительности труда, интенсивности работы при стабильности и надежности функционирования оборудования;

− более абсолютный технологический процесс не может обойтись без автоматического управления (обычно при переходе от периодических процессов к постоянным);

− уменьшение затрат на сторонние производства, уход от физического, монотонного, малоквалифицированного труда;

− необходимость регулирования получения и обработка информации и применение ее для управления всеми производственными процессами.

Процесс дистанционирования человека от прямого воздействия на управляющие органы и расширения функций автоматических устройств продолжается и становится неотъемлемой частью развития всей техники. Необходимость передачи автоматическим устройствам функций управления диктуется значительным усложнением процессов, повышением требований к точности, необходимостью экономии энергоресурсов, быстротой протекания процессов и т.п. Объем информации, который нужно переработать человеку в единицу времени, чтобы управлять, становится столь огромным, что он не успевает следить за им же созданными агрегатами и процессами. Устранение этой проблемы путем увеличения обслуживающего персонала невозможно. Кроме того, часто сам характер процесса (как в случае контроля параметров безопасности газифицированного агрегата) требует автоматизации.

Системы автоматизации нужны для эффективной организации оперативно-диспетчерского управления подстанцией в нормальных, аварийных/послеаварийных режимах и диспетчерско-технологического управления процессами эксплуатации оборудования подстанции и прилегающих электрических сетей. Переход от

устаревших подстанций к подстанциям нового поколения обусловлен многими факторами автоматизации процессов в этой сфере.

Основной целью АСУ подстанции является повышение надёжности электроснабжения потребителей за счёт сокращения количества аварий, путём их предупреждения и локализации, а так же полного исключения ошибочных действий дежурного персонала. Более того, автоматизация подстанций позволяет:

− создание на объекте устройств и установок, работающих в автоматизированном режиме;

− дистанционный контроль и управление всем комплексом объектов электроснабжения;

− надежную и безаварийную работу оборудования;

− безопасность эксплуатации подстанции;

− информационное взаимодействие между системой управления подстанции и системой дистанционного управления ДП ОЭС.

Достижение приведенных целей обеспечивается применением современных технических средств и методик управления, а также путем:

− снижения аварийности в работе оборудования за счет оптимального управления и своевременной коррекции параметров систем контроля и управления;

− снижения вероятности ошибочных действий оперативного персонала за счет своевременного представления информации в наглядном виде;

− сокращения затрат на ремонт за счет уменьшения объемов ремонтов вследствие оптимизации режимов работы оборудования;

− повышения производительности труда управленческого персонала за счет использования вычислительной техники.

АСУ строится как человеко-машинная система, работающая в темпе технологического процесса (в реальном времени), и включает в себя обслуживающий персонал, комплекс программно-технических средств, в том числе посты управления и обслуживания.

АСУ состоит из двух основных частей :

- функциональной части;
- обеспечивающей части.

Функциональная часть состоит из управляющих и информационно- вычислительных подсистем.

Управляющие подсистемы:

- цифровые релейные защиты и автоматизация;
- автоматическое управление.

Информационно-вычислительные подсистемы:

- оперативный централизованный контроль и диагностика режима;
- диагностика технического состояния оборудования;
- регистрация информации;
- архивирование и документирование информации.

Работа всех подсистем АСУ осуществляется путем взаимодействия всех составляющих обеспечивающей части, входящих в состав системы, а именно:

- лингвистического обеспечения в виде совокупности средств и правил для формализации естественного языка, используемых при общении эксплуатационного персонала с комплексом средств автоматизации;
- информационного обеспечения в виде совокупности нормативной базы, классификаторов, документов и реализованных решений по объемам, размещению и формам существования информации;
- математического обеспечения в виде совокупности математических методов, моделей и алгоритмов;
- программного обеспечения в виде совокупности программ, предназначенных для отладки, функционирования и проверки работоспособности АСУ;
- технического обеспечения в виде совокупности средств вычислительной техники и других технических устройств, используемых при функционировании системы;
- метрологического обеспечения в виде совокупности методов, правил и программно-технических средств, позволяющих реализовать функции АСУ в соответствии с установленными требованиями к достоверности информации;
- организационного обеспечения в виде совокупности документов, устанавливающих организационную структуру, права и обязанности эксплуатационного персонала в условиях функционирования, проверки и обеспечения работоспособности АСУ.

Подсистема автоматического сбора и распределения информации обеспечивает все остальные подсистемы данными по текущим значениям измеряемых параметров, уровням дискретных сигналов, отображающих состояние оборудования, исполнительных устройств.

При этом в информационно-вычислительных подсистемах реализован принцип многократного использования результатов измерений параметра одним датчиком.

В подсистеме автоматического сбора и распределения информации формируются также диагностические данные о работе

датчиков аналоговых и дискретных сигналов и их линий связи.

В контроллерах, обеспечивающих автоматический сбор и первичную обработку информации, формируется диагностическая информация об отказах и нарушениях в работе их отдельных модулей.

Информационно-вычислительные подсистемы (ИВП) получают данные из всех управляющих подсистем.

Организация удаленного управления оборудованием подстанций – телеуправление и телерегулирование – является следующим шагом развития средств автоматизации в электроэнергетике. Использование телеуправления обеспечивает ряд очевидных преимуществ по сравнению с традиционной организацией местного управления и ручными переключениями: высокую оперативность выполнения переключений за счет исключения необходимости взаимодействия между персоналом верхнего уровня (централизованной системы управления или децентрализованной системы) и оперативным персоналом подстанций; снижение количества технологических нарушений и травматизма при выполнении переключений, связанных с присутствием оперативного персонала в электроустановках, его недостаточным опытом, квалификацией и др.; повышение эффективности эксплуатации электрических сетей путем снижения затрат, связанных с выездом или постоянным присутствием оперативного персонала на месте выполнения переключений. Поскольку функции интеллектуального управления сетью доступны не только в рамках центра управления, но и для подстанций, существует возможность разработки новых приложений, которые позволят реализовать распределенные функции защиты, управления и автоматизации.

Научный руководитель: к.п.н. Е.Н. Хаматнурова

Литература:

1. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.Н. Лыков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 423 с.

2. Клюев А.С. Проектирование систем автоматизации / А.С. Клюев, В.А. Таланов, А.М. Демин; под ред. А.С. Клюева. – М.: Испо-сервис, 1998. – 128 с.

3. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: учеб. пособие / Н.И. Овчаренко; под ред. А.Ф. Дьякова. – М., 2000. – 504 с.

А.С. Угодин, Д.Е. Бахмисов, А.А. Смолярская, Н.А. Краева
Братский г*осударственный университет, г. Братск*
andreiugodin@gmail.com

ТОКАМАК И ЭНЕРГЕТИКА ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА В РОССИИ

Управляемый термоядерный синтез (УТС) — синтез более тяжёлых атомных ядер из более лёгких с целью получения энергии, который, в отличие от взрывного термоядерного синтеза (используемого в термоядерных взрывных устройствах), носит управляемый характер.

Термоядерный синтез - это как мини-версия нашего солнца, которая выделяет очень большое количество энергии, добыча которой актуальна в автономности этой системы, по легкости добычи водородного топлива и безопасности гелиевых отходов [1].

Токама́к - тороидальная камера с магнитными катушками — установка для магнитного удержания плазмы с целью достижения условий, необходимых для протекания УТС (рис.1).

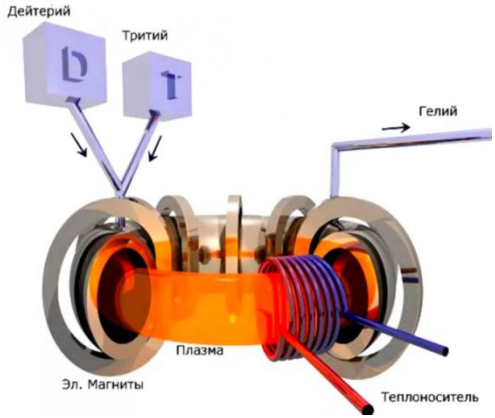


Рис. 1. Устройство токамака

Плазма в токамаке удерживается не стенками камеры, которые не способны выдержать необходимую для термоядерных реакций температуру, а специально создаваемым комбинированным магнитным полем — тороидальным внешним и полоидальным полем тока, протекающего по плазменному шнуру. По сравнению с другими установками, использующими магнитное поле для удержания плазмы, использование электрического тока является главной особенностью

токамака. Ток в плазме обеспечивает разогрев плазмы и удержание равновесия плазменного шнура в вакуумной камере [2].

Токамак-реактор на данный момент разрабатывается в рамках международного научного проекта ITER, а также в Санкт-Петербургском физико-техническом институте имени Иоффе (“Глобус-М”) [2].

Чтобы разогреть водород до состояния плазмы, можно проводить через направленный поток водорода электрический ток, тем разогревая водород до раскаленного состояния, с чем хорошо справляется токамак, создавая напряженность, сдерживающую водород в воздухе, чтобы он ничего не касался.

В раскалённом состоянии водород, превращаясь в плазму, начинает разлетаться по всему пространству, и главным решением этой проблемы является магнитное поле, созданное в тороидальной камере с магнитными катушками (токамаке), сдерживающее часть плазмы внутри камеры.

Одно из технических противоречий заключается в сложности размещения теплоотвода для системы: температура плазмы очень высока, и нагрев камеры происходит неравномерно.

Вторая проблема заключается в том, что изменение размеров камеры для улучшения теплоотвода требует от тороидальных катушек более высоких напряженностей.

По мнению автора статьи решение этих проблем может осуществляться несколькими способами.

Можно создать электрическое поле, отдаленно напоминающее сферу, которая будет сдерживать водород центре камеры также, как и Солнце, находящееся в космосе. При этом необходимо провести термоядерную реакцию настолько быстро, чтобы камера не успела нагреться, а для этого надо обеспечить наведение сверхвысоких токов на водородную плазму, чтобы скорость нагрева водорода была колоссально отличимой от скорости нагрева самой камеры.

Для быстрого нагрева водорода можно использовать сверхвысокое напряжение, и после зажигания плазмы сразу ее охлаждать отключением от напряжения и включения продува камеры.

Кроме того, для улучшения теплоотвода предполагается возможным заменить воздушную атмосферу в камере на аргоновую. Таким образом, по системе будет циркулировать большой и быстрый поток тугоплавкой смеси гелия и аргона, отводящий теплоту из токамака.

После выхода из токамака остывшая и отдавшая тепло смесь возвращается в обратно, тем самым, обеспечивая охлаждение самой

камеры, а также нагрев воды, пара или других смесей для привода в движение турбин электрогенераторов.

Мы определенно сможем создать камеру, которая имеет настолько высокую теплостойкость, что любой теплоноситель, который получит энергию от синтеза, не сможет за долгое время нагреться до высоких температур и вывести из строя всю систему. Достаточно залакировать аэрогелем всю наружную часть вольфрамовых пластинок, из которых и сделана оборонная (теплозащитная) часть системы. Благодаря низкой теплопроводности аэрогеля мы не допустим перегрева пластин [3].

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.Н. Яковкина

Литература:

1. Управляемый термоядерный синтез [Электронный ресурс]. – URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Управляемый термоядерный синтез
2. Токамак. [Электронный ресурс]. – URL:https://ru.wikipedia.org /wiki/Токамак
3. Аэрогель. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org /wiki/ Аэрогель

Р.Р. Умутбаев, И.Ф. Мингазов, А.А. Майоров
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань
krutoiy0.1996@mail.ru

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗАПУСКА С ФУНКЦИЕЙ АВТОЗАПУСКА ДВС БЕСПИЛОТНОГО ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Система пуска включает электростартер, аккумуляторную батарею и систему управления.

Система дистанционного запуска двигателя беспилотного грузового автомобиля предназначена для программного запуска двигателя беспилотного грузового автомобиля по команде оператора центра управления беспилотными автомобилями (ЦУБПА). Вторая функция заданной системы автозапуска - предназначена для автоматического запуска и прогрева двигателя. Устройство рассчитано на работу с двигателями с автоматической трансмиссией.

Разрабатываемая система является сложной задачей, но наиболее труднее осуществить эффективность управления пуска автомобиля без содействия водителя.

В системе дистанционного запуска применяется опциональный GSM-GPRS и GPS-GLONASS телематический модуль, который позволяет определять координаты автомобиля, управлять дистанционно из любой точки Земли.

Интеллектуальный автозапуск позволяет осуществлять дистанционный и автоматический запуск двигателя по заданной температуре двигателя. Так же может применяться безопасное и эффективное управление роем роботизированных автомобилей в режиме жёсткого реального времени. Такая функция найдет применение в автомобилях работающих в больших карьерах по добыче ресурсов.

Описание алгоритма работы СДАЗ

Алгоритм работы СДАЗ представлен на рис. 1.

В блок схеме введены следующие обозначения:

- температура двигателя - Тдв
- заданная температура – Тзад
- количество попыток пуска двигателя автомобиля – N
- число оборотов коленчатого вала двигателя - n, для надежного пуска его минимальное значение – $n\min \geq 300$ об/мин.
- $U_{АБ}$ – напряжение аккумуляторной батареи
- $U\min$ – минимальное напряжение аккумуляторной батареи, для надежного пуска его значение не ниже заданной, что соответствует степени заряженности аккумуляторной батареи 75%
- время паузы между попытками пуска – $t_{пуск}$, оно равняется 60 с.

Отсутсвие сигнала, определяются включен ли стояночный тормоз, в каком положении коробка передач и открыты или закрыты двери и капот автомобиля. ДВС – двигатель внутреннего сгорания.

Начало работы алгоритма. На вход СДАЗ поступает команда «Начало». Выполняется ввод команд: «Запуск», «Отбой», «Аварийный отбой»; Ввод исходных данных: $n_{мин}$; $N_{макс}$=3; $U_{АБ\ пор}$; $t_{пуск}$; $t_{паузы}$; Z.

Если включена функция автозапуска, то выполняется проверка: температуры двигателя Тдв и заданной температуры Тзад. Происходит сравнение температуры двигателя Тдв с заданной температурой Тзад. Если температура двигателя меньше заданной температуры, то происходит включение зажигания. Если температура ДВС больше заданной температуры, то алгоритм повторяется с момента проверки функции автозапуска.

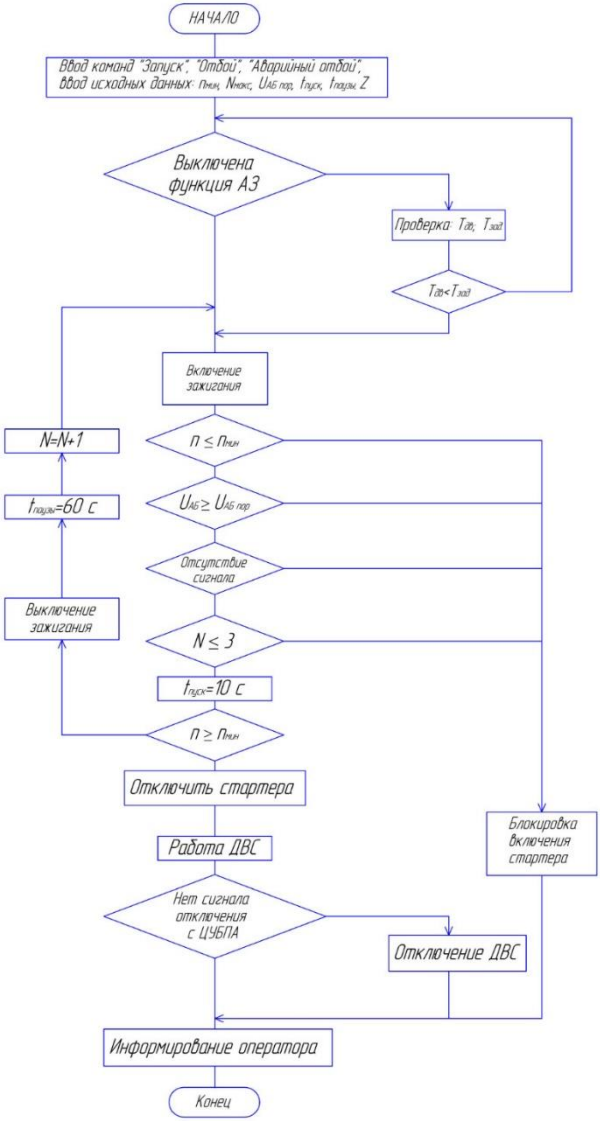


Рис. 1. Алгоритм работы системы дистанционного запуска с функцией автозапуска

Если функция автозапуска выключена, то происходит включение зажигания. Если частота вращения коленчатого вала *n* больше

минимальной частоты вращения n_{min}, то происходит блокировка включения стартера и информирование оператора о результате запуска. Если частота вращения коленчатого вала не превышает минимального значения, то происходит проверка отсутствия сигналов датчика состояния системы (сигналы с замков дверей, капота, стояночного тормоза). Если датчик состояния системы запрещает запуск, то происходит блокировка включения стартера и информирование оператора о результате запуска, если нет, то сравнивается напряжение аккумуляторной батареи с пороговым значением. Если уровень зарядки аккумуляторной батареи ниже порогового значения, то происходит блокировка включения стартера и информирование оператора о результате запуска, иначе происходит проверка на превышение количества попыток запуска двигателя. Если количество попыток запуска больше трех, то происходит блокировка включения стартера и информирование оператора о результате запуска, если нет, то происходит запуск двигателя длительностью 10 с.

Если частота вращения коленчатого вала не превысила 300 об/мин, то выжидается пауза 60 с. К количеству попыток запуска прибавляется единица и алгоритм повторяется с момента проверки сигналов датчика состояния системы.

Если частота вращения коленчатого вала превысила значение 300 об/мин, то происходит отключение стартера и работа ДВС. Если с ЦУБПА не поступает сигнал «Отбой», то происходит информирование оператора, а иначе ДВС отключается и после происходит информирование оператора.

Научный руководитель: к.т.н. доцент Р.И. Салимов

Литература:

1. Умутбаев Р. Р. . Статья Туполевские чтения «Интеллектуальная система дистанционного запуска двигателя внутреннего сгорания беспилотного грузового автомобиля». / Под ред. Р.И. Салимова.

2. «Автосигнализации с дистанционным запуском» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.razlib.ru, свободный.

А.Р. Файзрахманова
Лысьвенский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Лысьва
khamat_e@mail.ru, Alfia1996@yandex.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ОПЕРАТИВНОГО ТОКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОКОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Автоматизированная система управления электроприводом является одной из актуальных и востребованных задач в различных сферах жизни и деятельности современного общества.

Основой технологического прогресса, а так же повышения продуктивности является автоматизация электропривода, его технических показателей и КПД во всех областях возможных сферах его применения.

В различных этапах реализации автоматизации электропривода было необходимо произвести разносторонние научные изыскания, которые направлены на обобщение его свойств, разработку методов расчета его характеристик и режимов работы, а так же повышение продуктивности отказа устойчивости работы системы в целом.

Электропривод, имеющий автоматизированную систему в современном мире, является важнейшим и одним из крупнейших потребителей электроэнергии, из всего объёма электроэнергии вырабатываемой в нашей стране.Надо заметить, что на сегодняшний момент более 50% генерируемой электроэнергии преобразуется в механическую, необходимую для выполнения работ различными механизмами и машинами. Исходя из этого энерго-показатели электрического привода имеют на и важнейшее народно хозяйственное значение. Соответственно особую остроту приобретает проблема рационального с точкизрения энергопотребления проектирования электрического привода. Эта проблема требует разработки мероприятий, направленных наповышение КПД автоматизированного электрического привода, с одной стороны. На организацию управления работой машин, исключающее при минимизации непроизводительное потребление электроэнергии их электроприводами, с другой стороны.

Актуальность данной темы заключается в модернизировании систем резервного электроснабжения для бесперебойного питания различных электропотребителей.

Цель работы:

Модернизирование и повышение надежностиисточника оперативного тока систем управления газокомпрессорной станции.

Задачи:

1. Изучить схемы оперативного тока.

2. Выявить недостатки в отношении надежности схемы оперативного тока.

3. Предложить идею по повышению надежности схемы оперативного тока.

Научная новизна:

1. Аккумуляторные батареи, изготовленные по новым технологиям, которые позволяют уменьшить время на техническое обслуживание, но увеличивает надежность их работы и строк службы.

2. Предложено установить новый резервный источник оперативного тока на базе шкафа оперативного тока.

В процессе научно-технической революции в теории и практике автоматизированного электропривода произошли глубокие качественные изменения. Резкое повышение требований к точностям и динамическим показателям электрического привода, с одной стороны, и развитие элементной базы электрического привода, неизмеримо расширившие его технические возможности. С другой стороны, привели к быстрому возрастанию роли систем автоматизированного электрического привода, замену всех обратными связями, и к соответствующему развитию систем управления электрического привода.

Система постоянного тока состоит из источников питания и распределительных сетей, от которых питаются потребители. К источникам питания систем постоянного тока относятся выпрямительные зарядные устройства и аккумуляторные батареи. К распределительным сетям систем постоянного тока относятся щиты постоянного тока с установленным в них оборудованием.

Так же для защиты вторичных цепей и самоконтроля всей системы применяют щиты постоянного тока, которые предназначены кроме всего прочего для ввода и распределения электрической энергии постоянного тока в системах оперативного тока для собственных нужд станции. К важнейшим функциям, которые выполняют щиты постоянного тока, относится:

– контроль напряжения на шинах тока заряда, разряда;

– подзарядка аккумуляторных батарей;

– контроль снижения и повышения напряжения (отмечается в шинах секций);

– контроль пульсаций напряжения;

– контролируется общее состояние щита и в случае возникновения чрезвычайных ситуаций формируется сигнал общей аварии щита;

– так же щит обладает световой сигнализации.

Шкафы оперативного тока предназначены для применения совместно с аккумуляторной батареей, также могут применяться вместо определенных устройств постоянного тока.

Данные агрегаты предполагают аккумуляторную батарею, которая отличается герметизацией при условии продолжительного эксплуатационного срока. Также имеется система распределения и коммуникации. Кроме этого, дополнительно отмечается наличие модулей, которые являются выпрямительно-зарядными устройствами. Выбор, сделанный в пользу данной защитной системы, при ее правильном использовании позволит оценить свойственные ей преимущества и сильные стороны.

Научные руководители: к.п.н. Е.Н. Хаматнурова,
завлабораторией силового электрооборудования Н.В. Паршонок

Литература:

1. Выбор источников оперативного тока [Электронный ресурс]. – URL:http://studbooks.net/1893320/matematika_himiya_fizika/vybor_istochnikov_operativnogo_toka (Дата обращения:20.02.2018)
2. Источники оперативного тока [Электронный ресурс]. – URL: http://elekt.com.ua/rza/relejnaja-zashhita/istochniki-operativnogo-toka.html (Дата обращения 13.03.2018)
3. Автоматизация электроприводов и производственного оборудования [Электронный ресурс]. – URL: http://www.servomh.ru/stati/avtomatizaciya-elektroprivodov-i-proizvodstvennogo-oborudovaniya (Дата обращения 21.03.2018)

А.В. Федоров
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А, г. Саратов
faraday@nxt.ru

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ УСТАНОВКИ СВЧ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА НА ОСНОВЕ КАМЕРЫ С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ

Установки СВЧ диэлектрического нагрева применяются в различных технологических процессах для нагрева диэлектрических материалов. При нагреве энергией СВЧ, выделение теплоты происходит внутри объёма диэлектрика, что позволяет производить равномерный нагрев объектов с низкой теплопроводностью, невозможный при других способах нагрева (теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением).

Современные установки СВЧ диэлектрического нагрева включают в себя источник СВЧ энергии (СВЧ генератор), соединенный с помощью волновода с рабочей камерой, а также вспомогательное оборудование. В рабочей камере происходит воздействие СВЧ энергии на диэлектрик, что вызывает в нём выделение теплоты. Структурная схема стандартной установки СВЧ диэлектрического нагрева показана на рис.1.

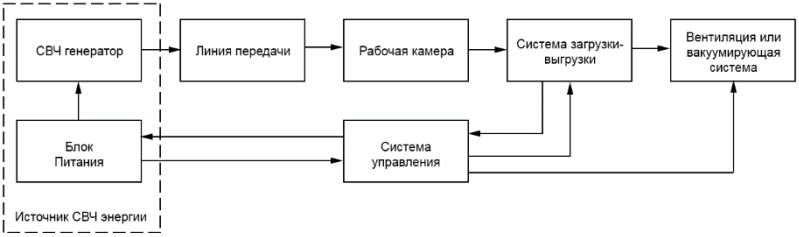


Рис.1. Структурная схема стандартной установки СВЧ диэлектрического нагрева

Существует три основных типа рабочих камер: камеры с бегущей волной (КБВ), камеры со стоячей волной (КСВ) и камеры лучевого типа (КЛТ) [1]. Наилучшая равномерность нагрева диэлектрика и наиболее высокий КПД достигается в КБВ. Так, в КБВ на нерегулярном отрезке прямоугольного волновода удаётся получить равномерность нагрева вплоть до ±3–5 °С на уровне 100°С [2].

Однако основным недостатком КБВ является рассогласование рабочей камеры с СВЧ генератором в процессе нагрева. Это

происходит из-за зависимости диэлектрических параметров нагреваемого диэлектрика ε' и tg δ от его температуры. Ввиду того, что согласующий нерегулярный профиль волновода рассчитывают на значения ε' и tg δ нагреваемого объекта, соответствующие определенной температуре (чаще – средней в диапазоне температур), то при отклонении диэлектрических параметров от расчётных изменяется входное сопротивление КБВ, что приводит к рассогласованию рабочей камеры, снижению КПД по использованию СВЧ энергии и к возникновению неравномерности нагрева диэлектрика по длине КБВ [2]. Так как входное сопротивление рабочей камеры зависит также от длины волны СВЧ генератора, для решения этой проблемы возможно синхронно с изменением диэлектрических параметров нагреваемого диэлектрика плавно перестраивать СВЧ генератор для компенсации изменения ε' и tg δ. Такие установки получили название широкополосных установок СВЧ диэлектрического нагрева [3].

Рассмотрим возможности улучшения характеристик установки СВЧ диэлектрического нагрева при нагреве диэлектрика в широкополосном режиме.

Наиболее просто производить расчёт рабочей камеры с помощью теории цепей [4]. Тогда основным показателем согласования является модуль коэффициента отражения по мощности рабочей камеры, показывающий какая часть СВЧ мощности отражается из рабочей камеры обратно в генератор,

$$|\Gamma|^2 = \left|\frac{P_{отр}}{P_{пад}}\right|. \qquad (1)$$

Здесь $|\Gamma|$ – модуль коэффициента отражения, $P_{отр}$ и $P_{пад}$ – мощность отраженной и падающей волны соответственно.

Определить $|\Gamma|$ можно из разницы входного сопротивления КБВ и волнового сопротивления подводящего прямоугольного волновода согласно выражению

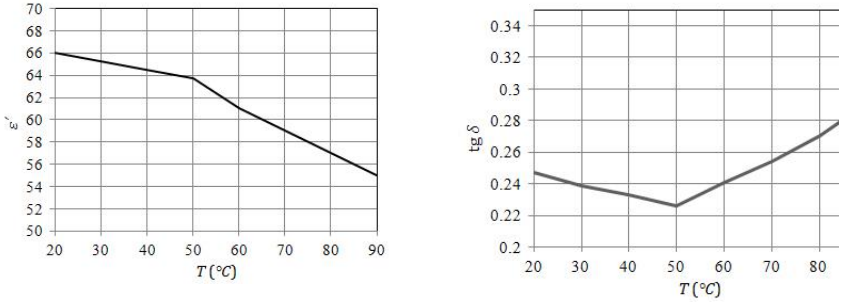
$$|\Gamma| = \left|\frac{Z_{вх}(T) - Z_{влн}}{Z_{вх}(T) + Z_{влн}}\right|, \qquad (1)$$

где $Z_{вх}(T)$ – входное сопротивление КБВ; T – температура диэлектрика; $Z_{влн}$ – волновое сопротивление подводящего прямоугольного волновода.

КПД по использованию СВЧ энергии КБВ η определяется согласно выражению:

$$\eta = 1 - |\Gamma|^2. \qquad (3)$$

По теории цепей рассчитаем зависимость $|\Gamma|(T)$ и $\eta(T)$ при нагреве диэлектрика в КБВ в одночастотном режиме и сравним результат с широкополосным режимом. В качестве диэлектрика рассмотрим картофельное пюре, диэлектрические параметры которого были измерены экспериментально при различных температурах [5]. Зависимости $\varepsilon'(T)$ и tg $\delta(T)$ показаны на рис.2.



а *б*

Рис.2. Зависимости $\varepsilon'(T)$ и tg $\delta(T)$ картофельного пюре. F = 1800 МГц, влажность 85.9%, содержание соли 0.8%

Рассматриваемая КБВ построена на нерегулярном отрезке прямоугольного волновода стандартного сечения 110 × 55 мм (ГОСТ20900-75). СВЧ генератор работает на длине волны 16,7 см. При этом слой диэлектрика расположен на широкой стенке вдоль прямоугольного волновода. Толщина диэлектрика, рассчитанная из условия идеального согласования, составляет $d = 0.98$ см, длина рабочей камеры $l = 51$ см.

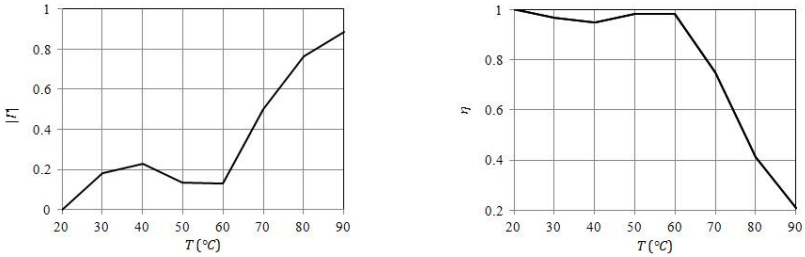
Методика инженерного расчёта КБВ подробно показана в работе [4]. Рассчитанные зависимости $|\Gamma|(T)$ и $\eta(T)$ показаны на рис.3. При расчёте согласующий профиль волновода рассчитывался на начальную температуру диэлектрика, соответствующую $T_0 = 20$ °C.

Как видно, при увеличении температуры значительно вырастает $|\Gamma|$ и снижается КПД. При увеличении температуры диэлектрика, большая часть СВЧ энергии отражается обратно в СВЧ генератор.

Рассмотрим далее широкополосный режим работы КБВ при нагреве того же диэлектрика.

В выбранном волноводе может распространяться электромагнитная волна длиной $\lambda = 11$–22 см, что соответствует диапазону частот $F_{ген} = 1{,}72$–$2{,}61$ ГГц. С помощью функции нахождения минимальных значений *minimize* в программе MathCAD, определим оптимальные значения длины волны СВЧ генератора при

различных значениях температуры, при которых величина $|\Gamma|(\lambda,T)$ минимальна. Полученная зависимость $\lambda(T)$ показана на рис.4, а рассчитанные зависимости $|\Gamma|(T)$ и $\eta(T)$ при данной перестройке $\lambda(T)$ приведены на рис.5.



а *б*

Рис.3. Характеристики КБВ в одночастотном режиме при нагреве картофельного пюре. *а* – $|\Gamma|(T)$; *б* – $\eta(T)$.

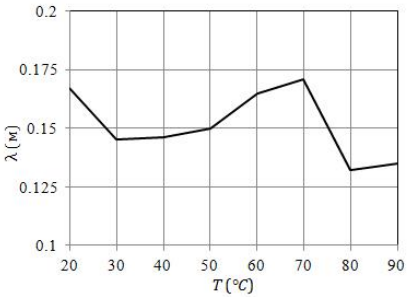
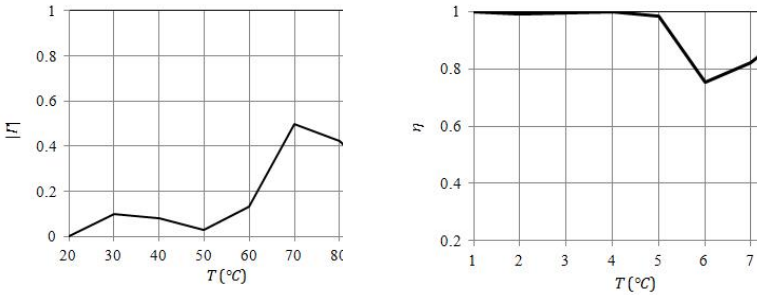


Рис.4. График изменения оптимальной частоты СВЧ генератора при изменении температуры диэлектрика.



а *б*

Рис.5. Характеристики КБВ при широкополосном режиме работы: *а* – $|\Gamma|(T)$; *б* – $\eta(T)$.

Расчет показывает, что при работе в широкополосном режиме не удаётся добиться полного согласования рабочей камеры на всем протяжении процесса термообработки, однако удаётся значительно улучшить КПД и уменьшить отражение СВЧ энергии из рабочей камеры по сравнению с одночастотным режимом. Результаты показывают преимущества применения широкополосного режима работы установок СВЧ диэлектрического нагрева.

Научный руководитель: д.т.н. профессор Ю.С. Архангельский

Литература:

1. Архангельский Ю.С. Справочная книга по СВЧ электротермии – Саратов: Издательство «Научная книга», 2011. – 560 с.
2. Архангельский Ю.С. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов / Ю.С. Архангельский, И.И. Девяткин. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1983. – 140 с.
3. Федоров А.В. Установки СВЧ диэлектрического нагрева с перестраиваемой частотой/А.В. Федоров// Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки», 2017, №4(57). С. 106-113.
4. Архангельский Ю.С. Применение теории цепей при синтезе рабочих камер СВЧ электротермических установок и математическом моделировании термообработки в СВЧ электромагнитном поле /Ю.С. Архангельский// Вопросы Электротехнологии, 2015, №3(8), С.9-15.
5. Guan D. Dielectric properties of mashed potatoes relevant to microwave and radio-frequency pasteurization and sterilization processes/ D. Guan, M. Cheng, Y. Wang, and J. Tang/ Journal of food science – vol. 69, no.1, 2004, pp.30-37.

Д.В. Федосеев, А.М. Никулин
Братский государственный университет, г.Братск
feia@brstu.ru

СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Принимаемые в настоящее время способы ограничения токов короткого замыкания решаются автоматическим или ручным делением сети и ввода в нее дополнительных реактивных сопротивлений. Это

снижает управляемость сети, ограничивает возможности перетоков мощности в сети и не позволяет расширять сеть с повышением ее передающей способности. Выходом из этого положения представляется применение ограничителей, снижающих амплитуду или продолжительность протекания токов короткого замыкания.

Пассивные ограничители токов КЗ в сетях 110 и 220 кВ — реакторы, выполняются со сравнительно небольшим значением сопротивления (1—4 Ома), что не позволяет достичь глубокого токоограничения. Большое сопротивление реакторов негативно влияют на работу электрической сети: увеличиваются потери, снижаются уровни напряжения и пределы устойчивости. Вместе с тем необходимо отметить, что в целом ряде случаев бывает вполне достаточно для ограничения токов КЗ применять указанные реакторы.

Активные ограничители токов КЗ в сетях имеют малое сопротивление при малой нагрузке, которое быстро растет при КЗ. К ним относятся коммутационные ограничители с прерыванием тока, резисторы с положительным температурным коэффициентом, полупроводниковые ограничители.

К ограничителям токов КЗ относятся также разрабатываемые в последнее время сверхбыстродействующие выключатели с использованием тиристорной коммутации или специальных устройств быстрого дугогашения.

Обычная коммутационная аппаратура и предохранители, отключающие часть сети с коротким замыканиям по своим возможностям не обеспечивают защиту от разрушающего термического и динамического воздействия на оборудование.

Так, при предельных токах отключения современных выключателей — 63 кА, их время отключения составляет не менее 3—5 периодов и они не успевают защитить аппаратуру.

Являющиеся по сути прерывателями токов КЗ предохранители и плавкие вставки обладают значительно меньшей отключающей способностью.

Деление электрической сети в стационарных режимах пока остается наиболее эффективным методом ограничения уровня токов КЗ, однако его применение не всегда возможно, а также ведет к ухудшению оперативной устойчивости и гибкости в управлении.

Идеальным решением было бы ограничение токов КЗ в сети без повышения сопротивления во время нормальной работы, но с введением высокого сопротивления в условиях КЗ — активных ограничителей токов КЗ.

Широкие перспективы для ограничения токов КЗ в сетях открывает применение сверхпроводниковых ограничителей токов короткого замыкания (ОТКЗ). В них используется уникальное свойство СП-материалов иметь нулевое сопротивление до определенных, предельных значений магнитного потока. Сверхпроводниковые ОТКЗ позволяют надежно решить проблему защиты оборудования, ограничивают первый, наиболее опасный бросок тока при КЗ, обеспечивают время срабатывания менее четверти периода колебаний переменного тока.

Сверхпроводниковые ОТКЗ можно принципиально применять в сетях напряжением 10—220 кВ для снижения ударных значений токов КЗ, согласовывать значения токов КЗ с отключающей способностью коммутационной аппаратуры, продлевая срок ее службы. Это особенно важно при росте уровней токов КЗ и развитии сети, а также при эксплуатации выключателей, отработавших свой срок или подлежащих замене из-за недостаточности тока отключения. Так, СП-ОТКЗ в комплекте с воздушным выключателем вполне может заменить дорогостоящий элегазовый выключатель и при этом обеспечить высокую скорость срабатывания.

Сверхпроводниковые ОТКЗ позволяют решать проблемы самозапуска двигателей собственных нужд тепловых электростанций (ТЭС) и двигателей, установленных на промышленных предприятиях с непрерывными технологическими процессами. При этом улучшаются оба параметра, влияющих на самозапуск двигателей: увеличивается напряжение на шинах с подключенными двигателями, которое прикладывается к ним после отключения КЗ, и уменьшается длительность снижения напряжения при КЗ и соответственно уменьшается время торможения двигателей.

По мнению многих специалистов высокотемпературный СП ОТКЗ может стать наиболее востребованным СП-устройством для электроэнергетики и первым широким коммерческим применением СП-техники.

Быстродействие высокотемпературных сверхпроводников почти на порядок выше, чем у выключателей. Это позволяет ограничить токи КЗ уже в процессе его нарастания, прежде, чем успевает развиться повреждение в оборудовании.

Работа по созданию ВТСП ТО активно ведется в США, Японии, Европе и России. Последние достижения этих стран: Компании Toshiba и Fujikura в сотрудничестве с ISTEC (International Superconductivity Technology Center) и университетом Йокогамы разработали и успешно испытали трехфазный ВТСП токоограничитель

резистивного типа. Одним из наиболее успешных проектов ВТСП токоограничителей, является CURL 10 (и последующий CULT 110), разработанный и изготовленный компанией Nexans совместно с исследовательским центром Forschungszentrum Karlsruhe (Германия).

Компания American Superconductor совместно с Siemens уже достаточно давно занимается разработкой ВТСП токоограничителей.

Российский опыт: Специалистами ВЭИ (Всероссийский Энерготехнический Институт) разработан макет ВТСП ТО с эффективным ограничением тока до 1000А при токе КЗ порядка 9 кА, с ВТСП SF 12100 на основе немагнитного высокорезистивного сплава Hastelloy компании SuperPower. Особенность этой разработки состоит в том, что токоограничители создаются на основе высокотемпературных сверхпроводниках 2го поколения. Такой материал по сравнению со сверхпроводниками предыдущего поколения характеризуется уменьшенным содержанием металла (малая толщина подложки и стабилизатора), дополнительным отводом тепла, более высоким значением критического тока и высокой стойкостью к аварийным токам в нормальном состоянии. В нормальных режимах устройство практически не оказывает влияния на режим работы системы, а в аварийных – вводит в сеть сопротивление, необходимое для ограничения тока КЗ до требуемого уровня.

Среди различных типов СПОТКЗ резистивный токоограничитель на основе лент ВТСП 2го поколения представляется наиболее перспективным с точки зрения компактности и цены. Резистивный СПОТКЗ содержит ВТСП модуль, размещенный в криостате с жидким или переохлажденным азотом (хладагентом), и высоковольтные токовые вводы специальной конструкции. Этот модуль состоит из нескольких параллельно соединенных лент. Число параллельных лент определяется номинальным током сети.

Допустимая температура ограничена требованием обеспечения живучести ленты и быстрого восстановления ее сверхпроводящих свойств после завершения процесса ограничения тока. Длительность режима токоограничения определяется полным временем отключения сетевого выключателя и временем формирования сигнала релейной защиты и может составлять 100–150 мс.

Существенно уменьшить объем ВТСП и тем самым сделать СПОТКЗ конкурентоспособным позволяет концепция построения коммутационного СПОТКЗ. Коммутационный СПОТКЗ содержит последовательно соединенные ВТСП модуль и быстродействующий выключатель с временем отключения в несколько раз меньше времени

отключения сетевого выключателя. Параллельно ВТСП модулю и выключателю может подсоединяться шунтирующее сопротивление. Такая схема СПОТКЗ позволит ограничивать амплитуду тока КЗ до приемлемого уровня при сравнительно небольшом объеме ленты ВТСП.

Примеры внедрения: Специалистами Российского научного центра «Курчатовский институт» создан однофазный макет ТО на ВТСП 2-го поколения для железнодорожного транспорта. Для систем тягового электроснабжения важной особенностью является высокая частота возникновения коротких замыканий, что приводит к частым повреждениям контактной сети и питающим ее понижающим трансформаторам.

Ведутся разработки ВТСП ТО в российской компании ЗАО "СуперОкс". В 2017 году, первый прозводитель ВТСП-провода второго поколения внедрил ТО устройство на построенной системообразующей подстанции "Мнёвники".

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.А. Стародубцев

Литература:

1. Бурман А.П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем / А.П.Бурман, Ю.К.Розанов, Ю.Г. Шакарян – М: Издательский дом МЭИ, 2012 – 336 с.

2. Алферов Д.Ф. Сверхпроводниковый ограничитель переменного и постоянного тока / Д.Ф.Алферов, М.Р.Ахметгареев, А.И.Будовский, Р.А.Бунин, И.Ф.Волошин, Д.В.Евсин, В.П.Иванов, В.А.Сидоров, Л.М.Фишер, Е.В.Цхай. - Журнал “Электричество” №9, 2012. стр.12-22.

С.О. Черных
Братский г*осударственный университет, г. Братск*
ch29lana96@yandex.ru

ОБЗОР ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЗАЩИТЫ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Дифференциально-фазная высокочастотная защита (ДФЗ) выполнена на принципе сравнения фаз токов по концам линии. Фазы токов по концам линии сравниваются при помощи импульсов высокочастотных сигналов, передаваемых по высокочастотному каналу защищаемой линии. В состав защиты входят два полукомплекта, установленные по концам защищаемой линии. Каждый полукомплект состоит из релейной части и ВЧ канала. В данной статье приводится краткий обзор микропроцессорных устройств, на которых выполнена данная защита.

Сириус-3-ДФЗ-02 (продукция ЗАО «РАДИУС Автоматика»).

Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-3-ДФЗ-02» предназначено для защиты воздушных и кабельных линий 110-220 кВ в сетях с эффективнозаземленной нейтралью. ДФЗ, по принципу действия, срабатывает при всех видах КЗ внутри защищаемой линии и не срабатывает при внешних КЗ, при реверсе мощности, асинхронном режиме работы ВЛ, несинхронных включениях, а также при одностороннем включении линии. Предусматривается возможность работы устройства на линиях любой конфигурации, в том числе на линиях с ответвлениями, а также на линиях внешнего электроснабжения тяговой нагрузки. Для обеспечения правильной работы, ДФЗ устройства включает три группы пусковых органов: чувствительные, грубые и дополнительные. Первые две из указанных групп используются на линиях всех типов, дополнительные пусковые органы вводятся в работу только на линиях с ответвлениями. Чувствительные пусковые органы действуют на пуск ВЧ передатчика. Грубые пусковые органы совместно с дополнительными пусковыми органами формируют сигнал отключения.

Шкаф дифференциально-фазной защиты линий 220-750 кВ с ОАПВ типа «Ш2700 04.65Х» (продукция компании «Релематика», прежнее наименование «ИЦ «Бреслер», г. Чебоксары). Старое обозначение «Бреслер ШЛ 2604.65Х».

Устройство защиты «Ш2700 04.65х» представляет собой полукомплект ДФЗ с функцией ОАПВ и предназначено для основной

быстродействующей защиты двухконцевых или многоконцевых линий электропередачи.

ДФЗ состоит из двух и более полукомплектов, устанавливаемых по концам воздушной линии. Устройство полукомплекта защиты для одной стороны ВЛ состоит из терминала защиты «ТОР 300 ДФЗ 65х» (релейная часть) и соответствующей аппаратуры ВЧ-связи (высокочастотная часть), обеспечивающей передачу высокочастотных сигналов (ВЧ-сигналов) на другую сторону защищаемой линии (или другие стороны для обеспечения селективности) по фазным проводам или по проводящим тросам. Высокочастотная часть защиты состоит из приёмопередатчика, аппаратуры и канала (линии) связи и соответствующей высоковольтной части.

Функция ДФЗ селективно срабатывает при всех видах коротких замыканий в защищаемой зоне и при переходе одного вида замыкания в другой, в том числе в цикле ОАПВ и при насыщении трансформатора тока с погрешностью до 50 %. ДФЗ отстроена от внешних КЗ, качаний, асинхронного режима, реверса мощности, несинхронных включений и оперативных переключений, а также правильно функционирует в режиме опробования линии. Защита сохраняет селективность при потере или неисправности цепей напряжения. Пусковые и отключающие ИО ДФЗ реагируют на фазные токи, разности фазных токов, все симметричные и аварийные составляющие токов, а также на компенсированное напряжение обратной последовательности. Время срабатывания шкафа ДФЗ «Ш2700 04.65Х» не превышает 40 мс.

Шкафы дифференциально-фазной защиты с функцией КСЗ линий 110-220 кВ серии «Ш2600 04.5хх» (продукция компании «Релематика», прежнее наименование «ИЦ «Бреслер», г. Чебоксары). Старое обозначение Бреслер ШЛ 2604.5хх.

Устройство защиты «Ш2600 04» представляет собой полукомплект ДФЗ с абсолютной селективностью и предназначено для защиты двухконцевых или многоконцевых линий электропередачи.

ДФЗ состоит из двух и более полукомплектов, устанавливаемых по концам воздушной линии. Устройство полукомплекта защиты для одной стороны ВЛ состоит из терминала защиты (релейная часть «ТОР 300 ДФЗ 51х») и соответствующей аппаратуры ВЧ-связи (высокочастотная часть), обеспечивающей передачу высокочастотных сигналов (ВЧ-сигналов) на другую сторону защищаемой линии (или другие стороны, для обеспечения селективности) по фазным проводам или по проводящим тросам. Функция ДФЗ серии «Ш2600 04.5хх аналогична Ш2700 04.65Х

ШЭ2607 08х, 48х (продукция ООО НПП «ЭКРА»).

Предназначены для работы в качестве основной быстродействующей защиты или резервной защиты при всех видах КЗ на ВЛ напряжением 110–220 кВ

Принцип действия ДФЗ основан на сравнении фаз токов по обоим концам защищаемой линии, получаемых от комбинированных фильтров токов.

Сравнение фаз токов, протекающих по разным концам ВЛ, осуществляется посредством токов высокой частоты (ВЧ) по каналу, в качестве которого используется защищаемая линия. Защита обладает абсолютной селективностью и действует на отключение при всех видах КЗ в защищаемой зоне и не действует при внешних КЗ, качаниях, реверсе мощности, асинхронном режиме работы ВЛ, несинхронных включениях и режимах одностороннего включения без КЗ. В основных режимах защита действует без цепей напряжения.

ШЭ2710 538 (продукция ООО НПП «ЭКРА»).

Применяется в качестве основной быстродействующей защиты линий электропередачи напряжением 330-750 кВ от всех видов коротких замыканий, возникающих в полнофазном режиме и при работе линии двумя фазами в цикле однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ).

Защита имеет два режима работы. В нормальном режиме устройство функционирует как направленная ВЧ защита линии, а в цикле ОАПВ переходит в режим дифференциально-фазной защиты;

БЭМП-ДФЗ.01 (продукция ЗАО «Чебоксарский электроаппаратный завод»).

Устройства БЭМП-ДФЗ предназначены для выполнения функций релейной защиты и автоматики, управления, сигнализации в шкафах и панелях защит для энергетических объектов 110-220 кВ. Устройство входит в состав шкафа ШМДФЗ. Шкафы серии ШМДФЗ, в зависимости от типа исполнения предназначены для выполнения следующих функций:

- дифференциально-фазная защита ВЛ 110-220 кВ;
- дифференциально-фазная и ступенчатые защиты ВЛ 110-220 кВ.

Сравнения фаз осуществляется косвенным путем посредством ВЧ-сигналов. Для управления ВЧ- приемопередатчиками от устройства БЭМП используется фаза комбинированного тока (тока манипуляции), который в свою очередь является суммой токов прямой и обратной последовательности. При внешних КЗ токи, измеряемые по концам защищаемой ЛЭП, находятся в противофазе; пакеты ВЧ сигналов, посылаемые с разных концов ЛЭП, сдвинуты относительно

друг друга на 180°, образуя тем самым сплошной сигнал в ВЧ канале. Защита по сравнению фаз при этом не срабатывает. При внутренних КЗ фазы измеряемых токов по концам защищаемой ЛЭП приблизительно равны. Выдаваемые ВЧ сигналы образуют время - импульсный сигнал, при котором срабатывает орган сравнения фаз, приводя защищаемую ЛЭП к отключению. Для разрешения действия на отключение в устройстве реализован орган сравнения фаз (ОСФ). Для пуска ВЧ приемопередатчика предусмотрены пусковые органы: по току обратной и нулевой последовательностей; по приращению токов прямой и обратной последовательностей, линейных токов, для контроля КЗ на ответвлениях предусмотрено реле минимального сопротивления и орган направления мощности нулевой последовательности. Защита действует на отключение при всех видах КЗ в защищаемой зоне и не действует при внешних КЗ, реверсе мощности, качаниях.

MiCOM P547 (продукция компании «Schneider Electric»).

Дифференциальная защита линии с функцией сравнения фаз с опцией работы в течение полупериода

Реле дифференциально-фазной защиты семейства MiCOM P547 предназначено для защиты линий ВН и СВН. MiCOM P547 обеспечивает оптимальную защиту линий ВН и СВН. Быстрое отключение коротких замыканий, отсутствие необходимости использования внешней связи и полнофункциональная встроенная резервная защита делают это устройство экономичным и надежным решением для защиты линий. Простота принципа и схемы защиты MiCOM P547 обеспечивают быстрое отключение КЗ. Для связи между двумя концами линии используется ВЧ связь по ЛЭП, поэтому отпадает необходимость использования канала внешней связи. Для повышения стабильности и чувствительности в длинных линиях передачи, а также при необходимости однополюсного отключения, можно добавить дополнительные входы для ТН. Дополнительные входы напряжения усиливают дистанционную защиту и обнаружение КЗ, а также расширяют другие функции P547. Реле MiCOM P547 снабжены полным набором функций встроенной резервной защиты для повышения надежности. Реле MiCOM P547 обеспечивают высокоселективную защиту и быстрое отключение КЗ. В качестве канала связи используется линия электропередачи, поэтому отпадает необходимость использования ТН для отключения. Располагая резервной токовой защитой, MiCOM P547 является экономичной альтернативой дифференциально-токовой защите.

Проведя обзор, можно сделать вывод, что большинство крупных компаний выпускают микропроцессорные терминалы, содержащие диффернциально-фазную высокочастотную защиту. В своей выпускной квалификационной работе я буду рассчитывать защиту на микропроцессорном терминале производителя «ЭКРА».

Научный руководитель: к.т.н., зав. кафедрой Ю.Н. Булатов

Литература:

1. Федоров В.А. Библия релейной защиты и автоматики. Новосибирский институт повышения квалификации, 2004. - 277с.
2. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. Издательство: М.: Энергоатомиздат, 2007 г. 549 с
3. Сириус-3-ДФЗ-02 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rza.ru/catalog/osnovyie-zashiti-liniy/sirius-3-dfz-02.php
4. Релематика [Электронный ресурс]. – URL: https://relematika.ru
5. Экра [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ekra.ru
6. ШМДФЗ Электронный ресурс]. – URL: http://rza.cheaz.ru/index.php/110-220kv/shkafy-shm/shmdfz
7. MiCOM P547 Электронный ресурс]. – URL: https://www.schneider-electric.ru/ru/product-range-presentation/60748-micom-p547

А.Р. Шафиков

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С КОАКСИАЛЬНЫМ КАБЕЛЕМ

Введение. Системы тягового электроснабжения (СТЭ), в которых в качестве усиливающего провода применяется коаксиальный кабель, обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными [1–5]. Эффекты применения кабеля обусловлены его конструкцией: высокая взаимная индуктивность соосно расположенных внешнего и внутреннего проводников снижает полное сопротивление кабеля, повышает экранирующий эффект и уменьшает магнитное влияние на смежные линии. К недостаткам СТЭ с коаксиальным кабелем можно отнести необходимость сооружения технически сложных муфт отбора

мощности. Принципиальная схема такой СТЭ показана на рис. 1.

В статье приведены результаты исследований, направленных на оценку показателей несинусоидальности в СТЭ с коаксиальными кабелями.

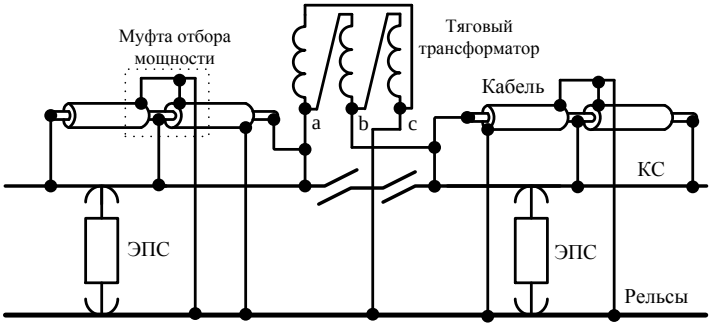


Рис. 1. СТЭ переменного тока с коаксиальным кабелем

Методика моделирования. Анализ эффективности применения коаксиального кабеля в снижении гармонических искажений выполнен программном комплексе Fazonord, разработанном в ИрГУПСе. Принципы построения комплекса подробно изложены в работах [6–8].

Коаксиальный кабель в Fazonord моделируется 21 элементарным проводником. Внутренняя токопроводящая жила моделируется проводником 1, экран – двадцатью проводниками 2-21, расположенными по окружности 40 мм. Сечение центрального проводника и экрана должны быть одинаковыми, и для участков железных дорог с крупными размерами движения составлять не менее 185 мм^2 [2].

Поскольку модель многопроводной системы предполагает относительную диэлектрическую проницаемость среды равной единице, то для получения необходимой эквивалентной генерации модели кабеля необходимо добавлять с каждой стороны модели между узлами жилы и экрана емкостные элементы с величинами сопротивлений $-j45430/l$ Ом, где l – длина кабеля, км.

Результаты моделирования. Моделирование выполнялось для двух вариантов: традиционная тяговая сеть 25 кВ и СТЭ 25 кВ с усиливающим коаксиальным кабелем по схеме рис.1.

Расчетная схема СТЭ (рис. 2) включала в себя следующие элементы: сеть внешнего электроснабжения 220 кВ с проводами АС-240, три тяговых подстанции с трансформаторами мощностью 40000 кВ·А, две межподстанционные зоны протяженностью 50 км, тяговую сеть двухпутного участка с проводами ПБСМ-95+МФ-10, рельсом Р-

65 и коаксиальным кабелем ПвП 1×185/185-35, смежную трехфазную линию А-35.

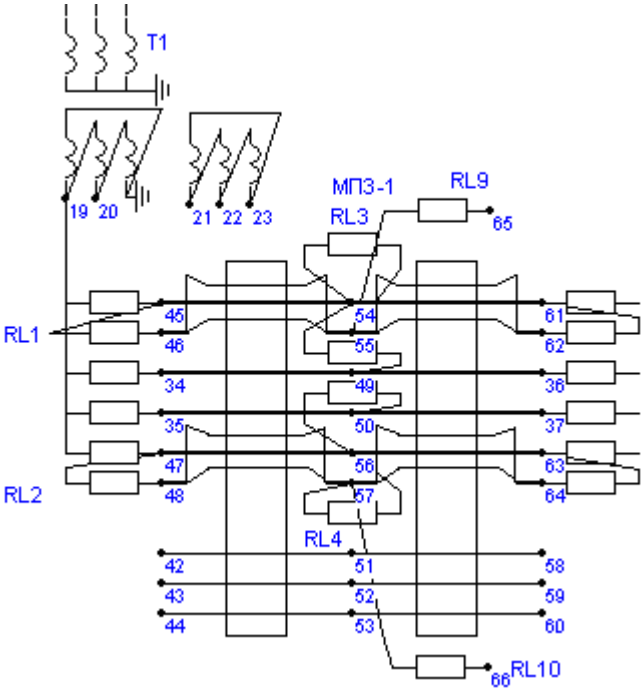


Рис. 2. Фрагмент модели СТЭ с коаксиальным кабелем

Для моделирования нагрузки использовался график движения поездов, представленный на рис. 4:

- в нечетном направлении - 10 поездов массами 3200 тонн, интервал следование – 10 минут;
- в нечетном направлении - 10 поездов массами 6000 тонн, интервал следование – 10 минут.

Расчет показателей несинусоидальности выполнялся для узлов подключения тяговых подстанций к сети внешнего электроснабжения 220 кВ. Результаты моделирования представлены в табл. 1-2 и проиллюстрированы на рис. 5.

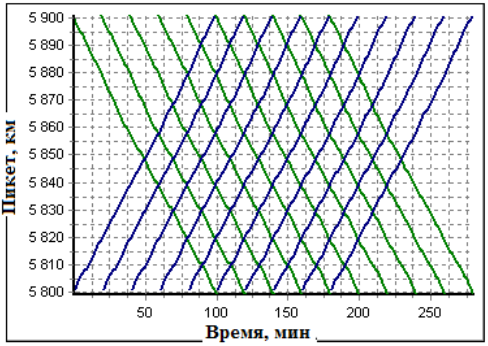


Рис. 4. График движения поездов для моделирования СТЭ с коаксиальным кабелем

Таблица 1 – Суммарный коэффициент гармонических составляющих, %

Фаза	Профиль пути	Максимум		
		ТП-1	ТП-2	ТП-3
A	СТЭ с кабелями	3,73	4,60	4,68
	СТЭ без кабелей	7,25	9,32	9,93
	Разница, %	–48,55	–50,64	–52,87
B	СТЭ с кабелями	7,57	11,15	12,91
	СТЭ без кабелей	5,92	8,64	9,98
	Разница, %	27,87	29,05	29,36
C	СТЭ с кабелями	8,55	11,15	12,80
	СТЭ без кабелей	7,92	8,64	11,42
	Разница, %	7,95	29,05	12,08

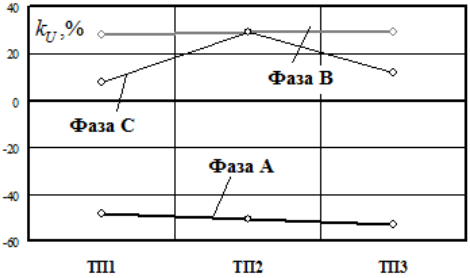


Рис. 5. Различия коэффициентов гармоник при включенных и отключенных кабелях

Выводы. Применение коаксиальных кабелей наряду с положительными результатами приводит к неоднозначным эффектам по критерию гармонических искажений. В двух фазах суммарные коэффициенты гармоник снижаются 8…30 %, а в одной из фаз наблюдается заметный рост гармонических искажений. Этот фактор необходимо учитывать при разработке методов усиления систем тягового электроснабжения.

Научный руководитель:
д.т.н., профессор, академик Российской академии транспорта,
член-корр. Российской инженерной академии, заслуженный энергетик РБ А.В. Крюков

Литература:

1. Бардушко В.Д., Закарюкин В.П., Крюков А.В. Принципы построения систем электроснабжения железнодорожного транспорта. Москва: Теплотехник, 2014. 166 с.
2. Шалимов М.Г., Маслов Г.П., Магай Г.С. Современное состояние и пути совершенствования систем электроснабжения электрических железных дорог. Омск, 2002. 49 с.
3. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Авдиенко И.М. Моделирование систем тягового электроснабжения 2х25 кВ с коаксиальными кабелями и трансформаторами Вудбриджа // Известия Транссиба. №2 (26). 2016. С. 70-78.
4. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Авдиенко И.М. Моделирование режимов систем тягового электроснабжения при движении высокоскоростных поездов // Современные технологии, системны анализ, моделирование. Иркутск. №3(55). 2017. С. 126-135.
5. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Ты Н. Моделирование электромагнитного влияния системы тягового электроснабжения с коаксиальным кабелем // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. №3(55).2016.
6. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Иркут. гос. ун-т. 2005. 273 с.
7. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск: ИрГУПС, 2011. 160 с.
8. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование режимов систем электроснабжения железных дорог. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2014. 164 с.

Е.В. Шевченко
Братский государственный университет, г. Братск
kapustina.eu@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Введение. Безусловно, энергия имеет большое значение в обеспечении технического прогресса и экономического роста в современном обществе. В последнее время возобновляемые источники энергии обладают большой популярностью за счет их огромного вклада в повышение независимости энергетики от традиционных ресурсов и в защиту окружающей среды [1].

В Европе малая генерация в большинстве случаев представляется установками на возобновляемых источниках энергии, например солнечными и ветряными электростанциями, основным недостатком которых является нестабильность первичного источника. На солнечной электростанции электроэнергия генерируется с помощью фотоэлементов, а частота преобразуется посредством полупроводниковых преобразователей; в случае ветряных электростанций необходимо учитывать непостоянность механического момента [2].

В России ситуация обстоит иначе. Малая генерация в большей степени представлена установками на органическом топливе. Вопрос переменности вращающего момента, а значит, регулирования частоты вращения в нормальном эксплуатационном режиме отсутствует. Эксплуатация таких установок осложнена недостаточной устойчивостью используемых в них генераторов, вследствие их небольшой инерции [3].

Для решения данной проблемы предлагается использовать асинхронизированный генератор (АСГ). В отличие от обычных синхронных генераторов (СГ) АСГ обладают большей устойчивостью к динамическим возмущениям. В данный момент в Европе применяются асинхронизированные генераторы с тиристорными преобразователями частоты. Однако данное решение является очень дорогостоящим.

В России АСГ начали использоваться в прошлом столетии, что было вызвано желанием ликвидировать повышенный уровень напряжения в сети, возникший в 80-90 годы в связи с закрытием промышленных предприятий. Поэтому частично начали использовать упрощенную конструкцию АСГ для улучшения динамических характеристик синхронных генераторов малой мощности [4].

Конструкция и основные свойства АСГ. Асинхронизированный генератор представляет собой электромеханический комплекс, включающий в себя машину переменного тока и преобразователь в цепи возбуждения, обеспечивающей возможность создания управляемых магнитных полей по двум взаимно перпендикулярным осям ротора (поперечной — q и продольной — d)[5]. Схема АСГ показана на рис. 1.

АСГ отличаются от синхронных машин тем, что магнитное поле перемещается относительно ротора, который его создает, а от асинхронных машин тем, что это перемещение создается посторонним источником и является управляемым.

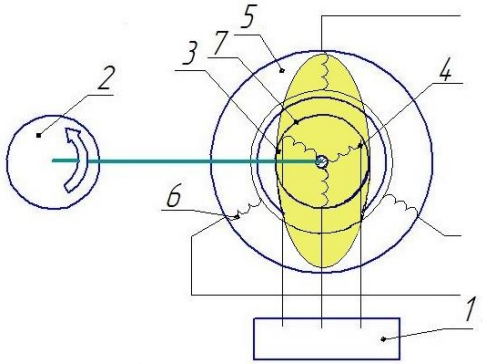


Рис. 1. Схема АСГ:
1 – полупроводниковый преобразователь регулируемой частоты;
2 –приводной двигатель; 3 – ротор генератора; 4 – обмотки ротора;
5 – статор генератора; 6 – обмотки статора; 7 – магнитное поле возбуждения.

АСГ относятся к классу машин двойного питания «синхронного» принципа действия. Они имеют устойчивость по углу между синхронно вращающимися векторами полей ротора и статора.

Система обмоток возбуждения может иметь две и более фазы, быть симметричной или несимметричной.

Основным преимуществом этого комплекса является меньшая мощность преобразователя, которая зависит от необходимого диапазона изменения частоты вращения (обычно не более 20—25% мощности генератора) [6].

За счет наличия многофазной системы обмоток возбуждения с раздельным управлением по осям ротора d и q помимо изменения поля

возбуждения, что характерно для обычных синхронных машин, позволяет изменять угловое положение поля относительно ротора. Это дает возможность создать поле, которое вращается относительно ротора, и обеспечить за счет этого при практически симметричной системе обмоток возбуждения вращение ротора с частотой, отличной от синхронной. Ток возбуждения в этом случае переменный и имеет частоту, равную электрической частоте скольжения ротора.

Таким образом, раздельное управление возбуждением по осям d и q дает возможность осуществить независимое регулирование реактивной мощности (напряжения) и активной мощности (электромагнитного момента). Это в свою очередь позволяет обеспечить значительное повышение статической и динамической устойчивости машины, а особенно в зоне потребления реактивной мощности. В результате у АСГ снимается ограничение последнего режима по условиям устойчивости, что является характерным для обычных СГ, а работа в этом режиме ограничена только нагревом обмоток и торцевых зон статора (у турбогенераторов).

Значительным преимуществом АСГ с точки зрения эксплуатации является то, что в случае повреждений в цепях возбуждения возможно сохранить агрегат в работе в синхронном режиме с возбуждением по одной из осей ротора, или в асинхронном режиме без возбуждения при закороченных обмотках ротора. Возможность у АСГ управлять частотой и фазой генерируемой ЭДС вне зависимости от частоты вращения ротора значительно упрощает процесс их синхронизации с сетью, а также и с другими машинами [7].

Практическое применение АСГ. В России и за рубежом создание и применение АСГ началось давно.

В настоящее время широкими и важными областями, где применяются асинхронизированные машины, являются электроэнергетические системы и схемы электроприводов различных механизмов. Так, АСГ и компенсаторы находят применение в электроэнергетических системах, в которых имеются длинные высоковольтные линии электропередачи. Такие линии обладают большой зарядной мощностью и им необходимо, чтобы генераторы и компенсаторы работали в режимах глубокого потребления реактивной мощности в часы снижения активных нагрузок. Использование для этой цели реакторов может быть не всегда эффективным, а также необходимы значительные затраты. За счет наличия на роторе не однофазной, а двух- или трехфазной обмотки возбуждения, асинхронизированный генератор может применяться для испытания генератора постоянного тока методом взаимной индукции [8]. За счет

регулирования тока возбуждения на этих обмотках, имеется возможность плавного изменения угла между вектором потока возбуждения и «продольной» осью машины, а значит и угла нагрузки.

В современной ветроэнергетике на основе асинхронного генератора применяются ветроэнергетические установки. Использование асинхронной машины двойного питания в качестве генератора ветроэнергетической установки (ВЭУ) дает возможность создавать крупные сетевые ВЭУ с переменной частотой вращения лопастей, но не уступающие по своей эффективности ВЭУ с фиксированной частотой вращения. В результате этого мощность преобразующих устройств уменьшается до 30 % от мощности всей установки, а это приводит к снижению потерь в таких устройствах и уменьшению их стоимости [9].

Применение АСГ в составе дизель-генераторной установки по сравнению с использованием синхронных генераторов дает возможность добиться получения следующих преимуществ: повышение точности поддержания частоты напряжения, обеспечение плавного и быстрого включения генератора на параллельную работу практически при любой частоте вращения, обеспечение симметрии токов генератора при значительной несимметрии напряжений сети и способность регулировать степень несимметрии токов генератора с целью симметрирования напряжений сети, достаточно большое повышение кратковременной перегрузочной способности дизель-генераторной установки при ударном приложении нагрузки [10].

Заключение. В результате проведённого обзора можно сделать вывод о том, что использование асинхронизированных генераторов является перспективным направлением для электроэнергетических систем с установками распределенной генерации. Несмотря на усложнение и увеличение стоимости по сравнению с обычным синхронным генератором, АСГ, имея существенные достоинства, уже практически применяются и будут применяться еще более широко в перспективе. Это не значит, что АСГ будут использоваться вместо синхронных генераторов, а только наряду с ними.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Ю.Н. Булатов

Литература:

1. Синицын А.С., Синицына А.А., Кузьменко А.А. Робастное управление энергоустановкой «асинхронизированный генератор –

ветротурбина»: Интегральная адаптация // Журнал «Известия ЮФУ. Технические науки», 2015. С. 197-208.

2. Hofmann W., Okafor F. Doubly-Fed Full-Controlled Induction Wind Generator for Optimal Power Utilisation // «Proceedings of the PEDS'01», 2001.

3. Данилевич Я.Б., Богуславский И.З. Асинхронизированные синхронные генераторы для ветроэлектростанций и малых ГЭС // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. – 2004. – № 7. С. 19–21.

4. Лабунец И.А. Асинхронизированные турбогенераторы. Качественное регулирование напряжения // Журнал «Новости Электротехники», 2007. – № 1.

5. Мамиконянц Л.Г., Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные генераторы: состояние, проблемы, перспективы // Теоретический и научно-практический журнал «Электричество». – 1994. – № 3. С. 1–10.

6. Шакарян Ю.Г., Ботвинник М.М. Управляемая машина переменного тока. – М.: Изд-во «Наука», 1969.

7. Осин И.Л., Шакарян ЮТ. . Электрические машины. Синхронные машины. — М.: Изд-во «Высшая школа», 1990.

8. Клочков С.Е., Завьялов В.М. Особенности применения асихронизированного синхронного генератора // Томский НИПУ, 2015. С. 145-148.

9. Казаков В.П., Никишин А.Ю. Современные ветроэнергетические установки на базе асинхронных машин. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.

10. Латышко В.Д., Прутчиков И.О., Журба. А.Г. Оптимальная структура системы возбуждения асихронизированного синхронного генератора дизель-генераторных установок. – СПб.: ВИТУ, 2006.

А.М. Шихов
Лысьвенский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Лысьва
khamat_e@mail.ru, *san4ezrulez@yandex.ru*

ПОНЯТИЕ ШИРОТНО–ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ, МЕТОДЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

Метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ) позволяет преобразовывать сигнал, при котором изменяется скважность

(длительность импульса), но при этом частота является постоянной величиной.

Применение. В связи с постоянным совершенствованием микроконтроллеров, метод ШИМ получил широкое распространение. Данный метод стал основополагающим для ряда устройств, которым требуется, как поддержание выходных параметров на определенном уровне, так и их регулировка. ШИМ также применяется в тех областях, где необходимо изменять скорость вращения двигателей, яркость света, также данный метод позволяет управлять силовым транзистором блоков питания, в которых используются импульсные преобразователи напряжения.

Также в настоящее время ШИМ - контроллер может решить ряд второстепенных задач, которые в свою очередь способствуют более надежной работе источника питания, например:

1)контроль уровня входного напряжения;

2)защита от короткого замыкания и перегрева силового ключа;

3)обеспечение плавного пуска преобразователя;

4) перевод устройства в дежурный режим (при необходимости).

Принцип работы ШИМ контроллера

Основная цель ШИМ контроллера – это управление силовым ключом путем изменения импульсов управления. При работе в ключевом режиме транзистор может быть полностью открыт либо полностью закрыт, т.е. находится в одном состоянии из двух. При закрытом состоянии ток, проходящий через p-n переход не может быть выше нескольких мкА, следовательно мощность рассеивания можно принять равной нулю. При открытом состоянии сопротивление P-n перехода чрезвычайно низкое, несмотря на большой ток, и как следствие это приводит к малым тепловым потерям. При переходе из одного состояния в другое наблюдается выделение наибольшего количества тепла, но не смотря на это, мощность потерь в сравнении с частотной модуляцией невелика, так как время переходного процесса мало. Существует два вида ШИМ: Цифровая и аналоговая.

Аналоговая широтно-импульсная модуляция: ШИ-модулятор аналогового вида основан на принципе работы, который заключается в сравнении 2 сигналов, при условии, что частота отлична на несколько порядков. Для сравнения сигналов используется компаратор (операционный усилитель). На один вход подается напряжение пилообразного вида с высокой постоянной частотой, при этом на другой вход подается модулирующее напряжение с низкой частотой и переменной амплитудой. Операционный усилитель проводит сравнение сигналов, создавая на выходе прямоугольные импульсы, а

длительность этих импульсов обусловлена величиной модулирующего сигнала на данный момент При этом частота ШИМ пропорциональна частоте сигнала, который имеет пилообразную форму.

Цифровая ШИМ: ШИМ в цифровом виде представляет собой одну из многих функций МК (микроконтроллера). Микроконтроллер на выходах способен создать как высокий, так и низкий уровень напряжения, руководствуясь только данными цифрового вида. Хотя не редко для того чтобы управлять нагрузкой максимально результативно, напряжение на выходе микроконтроллера необходимо регулировать. К примеру, для того, чтобы изменять яркость светодиода или скорость вращения двигателя. Для того чтобы на выходе МК получить напряжение в промежутке от 0 до 100% применяется метод ШИМ. Он подразумевает использование такого явление как передискретизация, когда реакция управляемого устройства в разы меньше установленной частоты переключения. Среднее значение напряжения на выходе регулируется посредством изменения длительность импульсов. Для того чтобы достичь плавности регулировки, необходимо производить весь процесс при частоте от десяти до ста кГц. Главным элементом каждой цифровой системы управления является ШИМ-контроллер, который позволяет это реализовать на техническом уровне.

Частое применение ШИМ-контроллеров вызвано тем что они обладают рядом преимуществ таких как:

- стабильность работы;
- высокая надежность устройства;
- экономия энергии, которую потребляет нагрузка;
- высокая эффективность преобразования сигнала;
- низкая стоимость.

Для того, чтобы получить на выходах МК ШИМ сигнал можно воспользоваться двумя вариантами:

- аппаратный;
- программный.

В любом микроконтроллере существует встроенный таймер, который может создавать ШИМ импульсы на заданных выводах. Таким образом совершается реализация на аппаратном уровне. Для того чтобы задействовать большую часть выводов и увеличить разрешающую способность допустимо использование программных команд для получения ШИМ сигнала. Но при таком подходе наблюдается более высокая загруженность микроконтроллера, а также этот способ занимает слишком большой оббьем памяти. Стоит отметить, что при использовании цифровой ШИМ число импульсов за

период может быть разным, при том что эти импульсы могут располагаться в любой части периода. Уровень выходного сигнала складывается из суммы всех импульсов за определенный период. Стоит принять во внимание, что каждый дополнительный импульс ведет к увеличению потерь во время переключении, так как происходит переход силового транзистора из открытого состояния в закрытое

Научный руководитель: доцент В.Г. Лопатин

Литература:

1. Муллин И.Ю. Исследование электропривода постоянного тока с широтно- импульсным регулированием // Вестник УлГТУ. – 2013. – С. 42-46;

2. Понятие широтно–импульсной модуляции, методы и применение [Электронный ресурс]. URL: http://ledjournal.info/spravochnik/shirotno-impulsnaya-modulyaciya.html#analogovaya-shim (дата обращения: 11.04.2018).

Э.К. Шуманский
Братский г*осударственный университет, г. Братск*
shumanskij@yandex.ru

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ РАСПРЕДЕЛЕНОЙ ГЕНЕРАЦИИ, РАБОТАЮЩИХ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Введение. В настоящее время происходит переход электроэнергетики России на новую технологическую платформу, основанную на использовании концепции интеллектуальных сетей. Эта концепция предусматривает широкое применение установок распределённой генерации (РГ), в том числе работающих на возобновляемых источниках энергии. При этом существующая централизованная система управления становится неэффективной из-за необходимости передачи больших потоков информации в центр для принятия решения [1].

Для решения обозначенной проблемы возможно внедрение распределенных систем управления установками РГ на базе мультиагентного подхода. Разработка интерфейсов обучения и программ взаимодействия отдельных агентов данных систем

управления является одной из ключевых задач для реализации проекта модернизации национальной энергетической системы и позволит надежно интегрировать установки РГ, работающие на возобновляемых источниках энергии [2, 3].

Мультиагентный подход. Мультиагентные технологии – это концепция решения сложных задач автоматического управления за счёт использования принципов самоорганизации и эволюции, присущи живым организмам. В отличие от классического способа, когда проводится поиск некоторого определённого алгоритма, позволяющего найти наилучшее решение проблемы, в мультиагентных системах решение получается автоматически в результате взаимодействия множества самостоятельных целенаправленных модулей – агентов, в качестве которых может выступать как аппаратная, так и программная сущность.

К основным признакам программного агента можно отнести следующее:

• автономность, заключающаяся в том, что агенты, хотя бы частично, являются независимыми;

• ограниченность представления: у каждого из агентов нет полной информации об объекте управления и внешней среде, т.к. объект является сложным и полное знание о нём не имеет практического значения для агента;

• децентрализация: отсутствуют агенты, осуществляющие управление всем объектом.

Характеристика мультиагентной системы управления установками РГ (МАСУ РГ).

Система управления на основе мультиагентных технологий может состоять из объектов управления с множеством входных и выходных параметров. В этом случае агенты будут получать информацию о параметрах объектов и их состоянии с помощью датчиков, обрабатывая которую, смогут воздействовать на регуляторы и исполнительные элементы системы, изменяя режимы работы объектов управления и всей системы в целом. Обобщенная структура МАСУ установками РГ в системе электроснабжения может быть представлена в виде схемы, показанной на рис. 1. Следует учитывать, что количество, функции агентов и набор соответствующих им программ взаимодействия могут изменяться в зависимости от количества и типа установок РГ (ветрогенератор, солнечная батарея или др.) в системе электроснабжения.

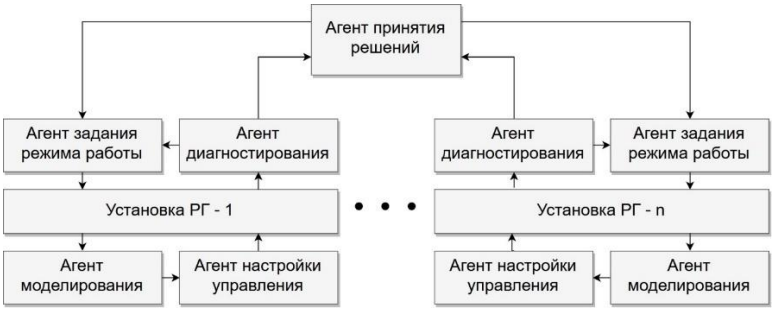


Рис.1. Обобщённая структурная схема МАСУ установками РГ

Мультиагентная система управления призвана повысить энергоэффективность установок РГ, работающих на возобновляемых источниках энергии. Разрабатываемые интерфейс МАСУ, отдельных агентов и их программы взаимодействия предназначены для управления установками РГ, настройки и возможной модернизации МАСУ.

Отдельные агенты предлагаемой системы управления могут выполнять следующие функции [5]:

1. *Агент принятия решений* корректирует режим работы установок РГ за счет прямого взаимодействия с агентами задания режима работы и агентами диагностирования агрегатов установок РГ.

2. *Агент задания режима работы* принимает команды от агента принятия решений и воздействует на механизм управления установки РГ, а также принимает сообщения от агента диагностирования, если параметры агрегата выходят за пределы нормы.

3. *Агент диагностирования* производит непрерывную диагностику агрегата установки РГ и посылает соответствующие сообщения агенту принятия решений и агенту задания режима работы в случае выхода диагностируемых параметров за допустимые пределы.

4. *Агент моделирования* необходим для выполнения функций идентификации и моделирования с целью определения оптимальных параметров системы управления агрегатами установки РГ и их проверки на модели для изучения возможных сценариев развития режима работы объекта управления.

5. *Агент настройки управления* использует данные, полученные от агента моделирования, для оптимизации настройки системы автоматического управления объектом в конкретном режиме его работы.

Рассмотреть реализацию МАСУ РГ можно на примере системы управления ветрогенерирующей установкой (ВГУ). ВГУ является нелинейным и нестационарным объектом, что ведет к повышенным требованиям к качеству регулирования, предъявляемых агенту настройки управления. Достичь желаемого качества управления можно за счёт применения нетрадиционных методов, например, нечёткой логики. В таком случае, алгоритмом работы агента настройки управления будет являться метод настройки нечеткого регулятора.

Основу функционирования интеллектуального агента, основанного на нечеткой логике, составляет система правил нечеткого вывода ЕСЛИ-ТО. Компонентами архитектурной модели такого нечеткого агента являются: система нечёткого логического вывода, состоящая из блоков фаззификации и деффазификации, а также база знаний, содержащая базу правил и блок вывода (рис. 2) [4,6].

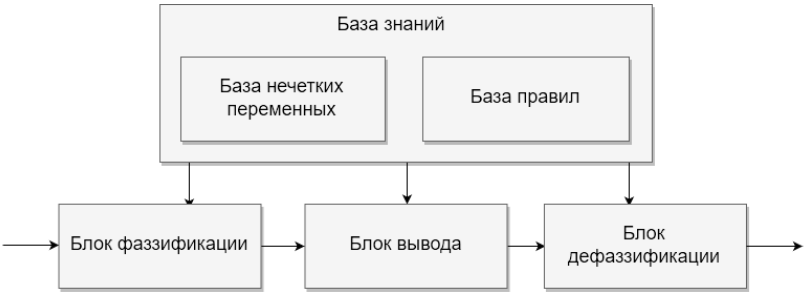


Рис. 2. Система нечёткого логического вывода

Для настройки нечёткого регулятора необходимо определение диапазонов изменения входных и выходных величин, выбора функций принадлежности нечётких переменных и проведения их лингвистической оценки. На вход регулятора для управления мощностью и частотой ВГУ предлагается подавать сигналы отклонения частоты вращения ротора от номинального значения и приращения механической мощности турбины. Выходным сигналом является угол поворота лопастей. Заключительным этапом является формирование базы знаний ЕСЛИ-ТО нечётких правил на основе экспериментальные данных зависимости входных и выходных сигналов с ВГУ [6].

Полученный таким образом агент в составе МАСУ РГ способен производить адаптивную настройку регуляторов установок РГ (в данном случае, ВГУ) с применением нечёткого логического вывода.

Заключение. Рассмотренная мультиагентная система управлениями установками распределенной генерации может быть использована для оптимизации режима работы и управления выделенной части системы электроснабжения с широким применением установок РГ. В электроэнергетической системе может быть несколько выделенных управляемых кластеров.

Научный руководитель: к.т.н, доцент Ю.Н. Булатов

Литература:

1. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / под ред. Фортова В.Е. и Макарова А.А. – М.: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2012. – 235 с.
2. Управление развитием крупномасштабных систем // С.Н. Васильев, А.А. Макаров, Н.И. Воропай и др. под ред. А.Д. Цвиркуна. – М.: Физматлит, 2012. – 496 с.
3. Morzhin Yu.I., Shakaryan Yu.G., Kucherov Yu.N. et al. Smart Grid Concept for Unified National Electrical Network of Russia // CD. Preprints of proceedings of IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe 2011, Manchester Dec. 5–7 2011. Manchester, GB: IEEE, The University of Manchester, 2011. Panel session 5D. pp. 1–5.
4. Miiller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // In Agent-Oriented Software Engineering book series. Springer. 2013. pp. 1-26.
5. Булатов Ю.Н., Крюков А.В. Мультиагентная система управления установками распределённой генерации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №11-12. – С. 97-107.
6. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Куцый А.П. Мультиагентный подход к управлению режимами систем электроснабжения железных дорог // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 4. – С. 108–126.
7. Бугайченко Д.Ю., Соловьев И.П. Абстрактная архитектура интеллектуального агента и методы ее реализации // Системное программирование. – 2005. – №1. – С. 36–67.

Е.С. Щельцина
Братский государственный университет, г. Братск
ulkovskaya@mail.ru

ОСВОЕНИЕ УДОКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Удоканское месторождение открыто в 1949 г. на площади бассейнов рек Кемен и Большая Икабья Сосновской экспедицией, проводившей в этих краях поисково-съемочные работы на уран и выявившей здесь 11 пунктов проявлений медной минерализации. Решением Министерства геологии и охраны недр СССР в 1952 г. была организована Удоканская геологоразведочная экспедиция, по результатам работы которой запасы меди в 1954–1955 гг. оценивались разными авторами от 18 до 25 млн т. В 1981 г. ГКЗ СССР утвердила запасы по всем категориям в количестве 20 млн т. меди при среднем содержании ее в руде 1,53% [1].

Разработка Удоканского месторождения откладывалась по ряду причин, таких как низкая рентабельность Удоканского ГОКа, отсутствие источников электроэнергии в непосредственной близости к месторождению и возможность острой экологической ситуации при промышленном освоении меднорудной зоны. В межгорных котловинах, обрамляющих Удокан, застаивается холодный воздух и возникают инверсии температур в течение всего зимнего периода. Система горных хребтов и впадин затрудняет самоочищение воздуха, что влечет загрязнение воздушной среды промышленными выбросами. Чарской котловине свойственна высокая запыленность атмосферы в летний период года. При штилевом состоянии погоды примеси промышленного и транспортного происхождения долго находятся в приземном слое атмосферного воздуха во взвешенном состоянии. Существуют проблемы использования подземных углекислых вод для снабжения населения питьевой водой и устройства очистных сооружений, не допускающих сброса загрязненных вод в реки и озера, прилегающие к комбинату[1].

В 1977 г. Сибирским отделением АН СССР, при поддержке центральных ведомств, а так же республик, краев и областей Сибири, была сформирована «Комплексная программа освоения природных ресурсов Сибири», больше известная под названием Программа «Сибирь» (получившая статус государственной программы совместным постановлением № 385/96 от 13.07.1984 г. Президиума АН СССР и ГКНТ СССР). Составной частью Программы «Сибирь», в числе ее подпрограмм, нацеленных на дальнейшее расширение минерально-сырьевой базы Сибири и СССР, стала региональная

программа «Медные руды Удокана» в качестве самостоятельного программного блока [2,3]. Первоначально задачи программы были сгруппированы в 5 блоков:

– геологическое изучение Кодаро-Удоканской рудной провинции. Эта провинция вошла в последующем практически в зону Байкало-Амурской магистрали, а блок сохранил свою самостоятельность на протяжении всей жизни программы «Медные руды Удокана»;

– второй блок – инженерно-сейсмические исследования и изучение особо опасных природных явлений – был призван раскрыть потенциальные опасности природной среды для освоения месторождения и жизни населения. Этот блок с 1986 г. не выделялся в качестве самостоятельного, а комплексировался с 3-им, 4 и 5-ым блоками;

– третий – горные работы и вопросы технологии. Это один из центральных блоков, сохранивших свою самостоятельность на все время работы координационной программы;

– четвертый – экономика и комплексное освоение Удокана;

– пятый блок – экология и охрана окружающей среды.

С самого начала, отличительной чертой программы был ее подход к освоению Удокана как к комплексной проблеме, в которой вопросы геологии и технологии разработки месторождения рассматривались в неразрывной связи с оценкой природных условий и задачами по формированию благоприятной социальной сферы и охране окружающей природной среды района освоения.

В середине 80-ых годов, когда министерства и ведомства потеряли «интерес» к Удоканскому месторождению, программа стала по форме организации производственного комплекса более «территориальной», в ней появился блок: «разработать научные основы формирования Удоканского ТПК и концепции освоения Удоканского месторождения меди». В 1988 г. было проведено последнее заседание Координационного совета. Через два года Программа «Сибирь» была реорганизована. Во главу угла существования программ вышел финансовый фактор и поддержка работ отраслью, а затем и субъектом Федерации. Программа «Медные руды Удокана» (как и многие другие подпрограммы в Программе «Сибирь») и в обновленном виде не сохранила свое место. Проблема освоения медного гиганта Севера Забайкалья в год 40-летия начала строительства БАМ еще не получила своего решения[4].

В настоящее время Удоканское месторождение является одним из крупнейших месторождений медистых песчаников в мире, общие

запасы которых составляют 19,94 млн. т, с содержанием меди 1,56 %. На долю Удоканского месторождения приходится 21,5 % балансовых запасов меди страны [5]. Месторождение расположено в Каларском районе в 23 км. от БАМа. Лицензия на право разработки месторождения принадлежит ООО «Байкальская горная компания», подконтрольная ОАО «Михайловский ГОК», входящий в холдинговую компанию «Металлоинвест». ООО «Байкальская горная компания» планирует построить горно-металлургический комбинат годовой мощностью 36 млн. т руды с получением 474 тыс. т меди. Кроме того, Удоканское месторождение содержит в себе значительные запасы серебра, которые по категории А+В+С1 оцениваются 4345,5 тыс. т, по категории С2 – 4555,1 тыс. т, или 10,4 % балансовых запасов страны. Содержание серебра в рудах невысокое и составляет 10г/т [6].

Проблема электроснабжения Удоканского ГОК на данный момент нашла свое решение. Предлагаются следующие этапы обеспечения требуемых мощностей (рис. 1):

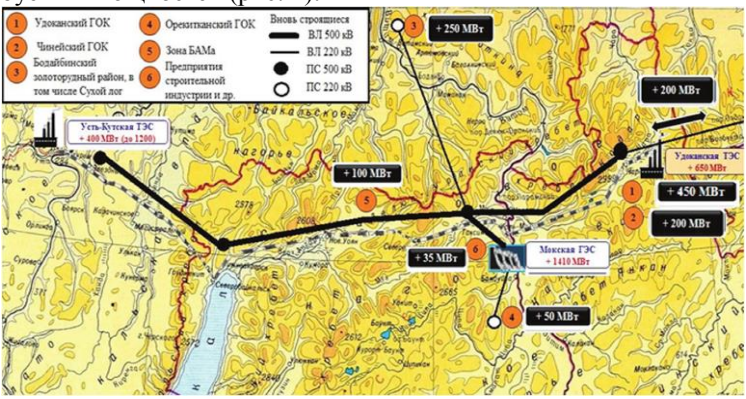


Рис. 1. Схема расположения планируемых предприятий в зоне БАМ в Иркутской области, Республике Бурятия и Забайкальском крае. Потенциальные нагрузки потребителей и варианты их обеспечения

• I этап – строительство ВЛ-500 кВ «Усть-Кут – Северобайкальск» и включение ее на напряжение 220 кВ. Это позволит обеспечить начало строительства Удоканского ГОК и Мокской ГЭС .

• II этап – строительство ВЛ-500 кВ «Северобайкальск – Чара» с ПС-500 кВ «Чара» для обеспечения пуска Удоканского ГОКа, золоторудных месторождений Бодайбинского района, начала строительства Мокской ГЭС, увеличения загрузки БАМ.

• III этап – пуск Мокской ГЭС с Ивановским контррегулятором на пониженных параметрах мощностью 400 МВт для обеспечения

увеличения нагрузки Удоканского ГОК, Бодайбинского пром-узла, Байкало-Амурской магистрали[7].

Но в связи с задержкой строительства Мокской ГЭС с Ивановским контррегулятором появляются различные варианты создания генерирующих источников для электроснабжения данной территории. Одним из таких вариантов является строительство Удоканской ТЭС мощностью 600 МВт с объёмом инвестиций 48,6 млрд р. (2011 г.) для обеспечения потребностей в электроэнергии создаваемого Удоканского ГОК. Данный вариант позволит решить вопросы только этого предприятия, но не снимет вопросы снабжения остальной территории. Кроме того, из-за недостатка потребителей тепла электростанция будет вынуждена работать в конденсационном режиме с коэффициентом полезного действия не более 38–40 %, что значительно понижает эффективность работы ГОК[8].

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Шакиров

Литература:

1. Г.А. Пелымский, Н.И. Лаптева Благородные металлы в медных рудах Удокана // журнал Жизнь Земли, том 32, 2010 г. 88,91с.
2. Недешев А.А. Читинская географическая лаборатория (1963–1981 гг.) // География и природные ресурсы, 1991, № 2. – С. 188–195.
3. Недешев А.А. Академическая наука в Забайкалье / отв. ред. акад. М.И. Эпов, А.Б. Птицын. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 181 с.
4. Чечель А.П. Академическая история изучения медного Удокана (1977–1990 гг.) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований № 10, 2015 - с. 523-527
5. Состояние МСБ меди Российской Федерации на 01.01.2012 г.
6. Дабиев Д.Ф. Экономический потенциал освоения минерально-сырьевых ресурсов Забайкальского края. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований №7, 2014 – с. 81-85
7. Борисов Г.О. Этапы становления электроэнергетики Бурятии, проблемы и перспективы ее развития. // Вестник БНЦ СО РАН, 2016 – с. 136-137
8. Борисов Г.О., Дондоков З.Б., Гонин В.Н., Кашурникова В.И. О межрегиональном взаимодействии развития электроэнергетики зоны БАМ // журнал Вестник Забайкальского государственного университета, 2017 – с.33

В.О. Юдина
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов
2009risha@rambler.ru

ПРЕСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЧ МЕТОДИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Применение энергии СВЧ электромагнитных колебаний для термообработки диэлектрических сред, материалов, изделий позволяет интенсифицировать процесс термообработки, получить более высокую равномерность нагрева по объему обрабатываемого объекта [1,2].

СВЧ электротехнологические установки (СВЧ ЭТУ), работающие в методическом режиме (методические установки), при прочих равных условиях выгодно отличаются от установок, работающих в периодическом режиме (периодические установки), большей производительностью, благодаря экономии времени на периодические загрузки и выгрузки обрабатываемых объектов. Структурная схема методической СВЧ ЭТУ показаны на рис. 1.

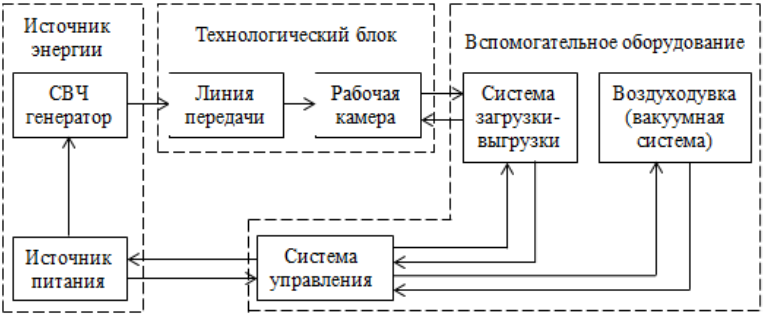


Рис.1. Структурная схема методической СВЧ электротехнологической установки

Принципиальным элементом такой установки является транспортная система, которая состоит из транспортного канала и электропривода. Транспортный канал является неотъемлемой частью рабочей камеры установки и предназначен для транспорта обрабатываемого объекта от входного шлюза к выходному. Электропривод состоит из электродвигателя и других элементов, которые обеспечивают перемещение обрабатываемого объекта по транспортному каналу.

Разработаны научные основы тепловой и нетепловой СВЧ модификации диэлектриков, принципы проектирования установок разных типов, синтеза рабочих камер, математического моделирования технологических процессов и технико-экономической оптимизации структуры и параметров этих установок [3]. В то же время следует признать, что вопросы применения электромеханических систем в СВЧ электротехнологических установках рассмотрены недостаточно. Поскольку более производительный методический режим работы СВЧ ЭТУ обеспечивается применением в установке электромеханической системы, вопрос о перспективах методических установок представляет большой научный практический интерес.

На рис. 2 показана классификация транспортных систем СВЧ ЭТУ [4].

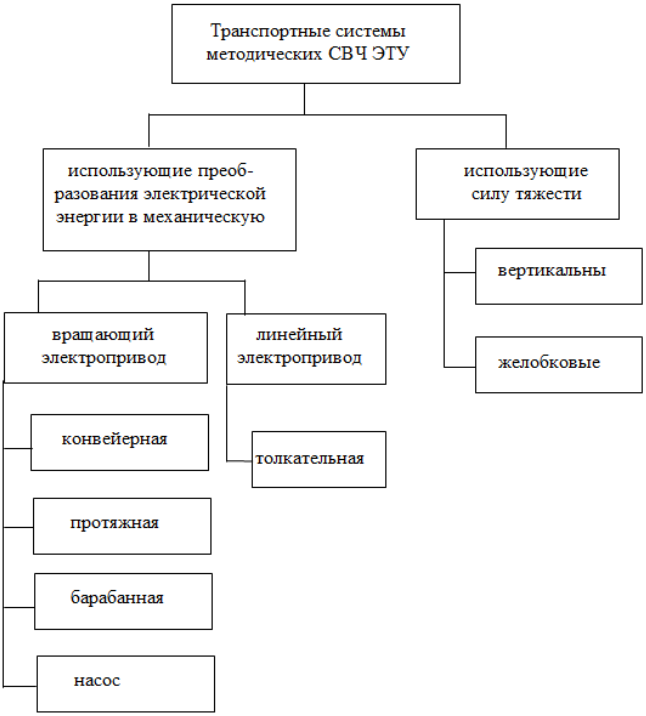


Рис.2. Классификация транспортных систем СВЧ электротехнологических установок

В работах [5-9] приведены соотношения для расчета мощности электродвигателей электропривода разных транспортных систем. Эти

расчеты позволяют впервые провести проектирование методических СВЧ ЭТУ с учетом электромеханических элементов. Подобные расчеты делают проектирование более полным, увеличивают достоверность выводов и рекомендаций, и позволяют сформулировать взаимосвязь мощностей электродвигателя и СВЧ генератора.

Действительно, если, пренебрегая потерями, применить к методической СВЧ ЭТУ закон сохранения энергии, можно записать

$$P_{\text{г}}\tau = c\rho Sl(T_{\text{н}} - \text{T}_0), \quad (1)$$

где $P_{\text{г}}$ – мощность СВЧ генератора; τ – время нахождения обрабатываемого объекта в рабочей камере; c, ρ, S, l - удельная теплоемкость, плотность, площадь поперечного сечения обрабатываемого диэлектрика, длина транспортного канала в рабочей камере; T_0, $T_{\text{н}}$ – начальная и конечная температура обрабатываемого объекта.

А так как

$$P_{\text{эл.д}} = \frac{F_{\text{тяг}}v}{\eta}, \quad (2)$$

где $P_{\text{эл.д}}$ – мощность электродвигателя транспортной системы; $F_{\text{тяг}}$ - тяговое усилие на электродвигателе; v – скорость движения транспортера (толкатель, лента, конвейер, барабан и т.д.); η - общий КПД приводящего механизма, то при $v=l/\tau$

$$P_{\text{г}} = \frac{c\rho S P_{\text{эл.д}}\eta}{F_{\text{тяг}}}(T_{\text{н}} - T_0). \quad (3)$$

Это соотношение конкретизирует исходные параметры при технико-экономической оптимизации методической СВЧ ЭТУ, проводимой с целевой функцией [3].

$$\text{Э}_{\sum} = \text{ПЦ} - \text{З}(P_{\text{г}}, P_{\text{эл.д}}), \quad (4)$$

где Э – чистый годовой доход (экономическая эффективность); П – годовая производительность СВЧ ЭТУ; Ц – цена единицы продукции, З – затраты.

С помощью соотношений (3) и (4) сводится к исследованию зависимости Э от мощности генератора (или электродвигателя) и нахождения этой величины при которой экономическая эффективность максимальна.

Приведенное соображение позволяют прогнозировать расширение применения методических СВЧ ЭТУ в различных отраслях, поскольку учет электромеханических элементов транспортной системы делает прозрачными вопросы, связанные с целесообразностью применения более дорогостоящей по сравнению с периодическими установками методических СВЧ ЭТУ.

Наибольший интерес методические СВЧ ЭТУ должны представлять для производства диэлектрических сред, материалов и

изделий с большой производительностью, крупногабаритных, твердых, сыпучих и жидких в таре или в потоке.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Ю.С. Архангельский

Литература:

1. Архангельский, Ю.С. СВЧ электротехнология/ Ю.С. Архангельский. – Саратов: Сарат. гос. тех-н. ун-т, 1998. - 408 с.
2. Архангельский, Ю.С. Элементная база СВЧ электротермического оборудования/ Ю.С. Архангельский, В.А. Воронкин. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т. - 2003. – 212 с.
3. Архангельский, Ю.С. Справочник по СВЧ электротермии/ Ю.С. Архангельский. – Саратов: Из-во., Научная книга, 2011. – 560 с.
4. Юдина В.О. Транспортные системы СВЧ электротермических установок, работающих в методическом режиме/ В.О Юдина, Ю.С. Архангельский // Вопросы электротехнологии. – 2016. - №3 (12). - С. 10-13.
5. Архангельский, Ю.С. Толкательная СВЧ электротермическая ус-тановка на базе камеры с бегущей волной/ Ю.С. Архангельский, В.О Юдина // Вопросы электротехнологии. – 2015. - №4 (9). - С. 14-19.
6. Юдина, В.О. Конвейерная СВЧ электротермическая установка на базе камеры лучевого типа / В.О. Юдина, Ю.С. Архангельский // Вопросы электротехнологии.- 2016.- №2 (11). – С. 5-7.
7. Юдина, В.О. Протяжные СВЧ электротехнологические установки/ В.О. Юдина, Ю.С. Архангельский//Вопросы электротехнологии. – 2016. - №1 (10). - С. 8-13.
8. Юдина, В.О. СВЧ электротермические установки для термо-обработки жидкости в потоке/ В.О. Юдина, Ю.С. Архангельский // Вопросы электротехнологии. – 2016. - №2 (11). – С. 8-13.
9. Юдина В.О. Барабанные СВЧ электротермические установки/ В.О. Юдина, Ю.С. Архангельский // Вопросы электротехнологии, 2017.№2(15).-С. 25-29. ISSN 2309-6020. – 0.192.

Ярославцев В.О.
Лысьвенский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Лысьва
ice.vovka@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ КОМПЛЕКТНО-ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Без электрической энергии невозможна работоспособность любого производственного и бытового оборудования. Нужно понимать, что к электрической энергии предъявляются свои требования, которые должны соответствовать с точки зрения эффективности и работоспособности любой установки.

Большая часть электроэнергии расходуется предприятиями, объясняя это тем, что в крупных организациях с каждым годом расчёт общее количество электроустановок. Несмотря на это, общее потребление установок постепенно снижается, за счёт более современного подхода к проектированию.

Говоря ближе к теме, по проектированию автоматизированных систем, то это прогрессивное мероприятие, которое должно разрабатываться высококвалифицированным персоналом, не пренебрегая технологичностью, экономичностью и безопасностью систем проектирования.[1]

Обеспечение автоматизированных или автоматических защитных мер для трансформаторных подстанций является серьезной проектной задачей, которая должна соответствовать заявленным техническим требованиям. Основные требования к электрическим аппаратам и электрооборудования – это надёжность узлов и элементов, быстрота срабатывания, адекватная ценовая политика, если рассматривать с экономической точки зрения и, простота рабочих элементов, а также эксплуатация, которая не должна вызывать затруднений у оперативно-обслуживаемого персонала.

Оперативно выездная бригада занимается приёмом заявок потребителей, занимается переключением линий, обслуживает и устраняет мелкие неисправности электрооборудования.

Нужно, конечно, понимать, что не все нормы по обслуживанию могут полностьюсоответствовать ожидаемым результатам, поэтому, для таких мероприятий существует целый комплекс по обслуживанию комплектно трансформаторных подстанций. Как правило, для таких случаев издаются нормативно-технические стандарты и правила по обслуживанию электрических подстанций и распределительных устройств.

Комплектно трансформаторные подстанции и комплектно разъединительные устройства должны иметь надписи, составленные технически-грамотным текстом, указывающие назначение отдельных силовых цепей трансформатора, панелей и электрических аппаратов. Надписи должны указываться с двух сторон и должны иметь мнемосхему.

В помещениях, в которых установлены комплектно разъединительные устройства, должны обладать высоким уровнем биологической экологией. Стены, потолки и пол должны быть хорошо окрашены влагостойкой краской и должны быть обработаны биологическими составами. Помещение должно быть оборудовано в обязательном порядке хорошей системой вентиляции с фильтрами тонкой очистки. Помещение, в котором находится комплектно разъединительные устройства и силовое электрооборудование должно обладать высокой степенью защиты для обслуживаемого персонала от электрических и магнитных полей.Всё электрооборудование должно использовать экранирование источников.

В комплектно трансформаторной подстанции в обязательном порядке входит следующее электрооборудование: Силовые трансформаторы, автотрансформаторы, регулирующие трансформаторы тока, напряжения, мощности и частоты; ПИК-трансформаторы, поворотные трансформаторы регулирования мощности и параметров нагрузки; Реакторы и коммутационные аппараты; Конденсаторы связи, разрядники, кабели; Устройства релейной защиты и автоматики.[2]

Внедрение готовых укомплектованных систем автоматического управления по защитным мерам позволяет контролировать рабочий процесс, пренебрегая трансформаторной подстанции о различных сигналах, случаи, которые могут самостоятельным образом производить обслуживание электрооборудование, или, с помощью обслуживаемого персонала. Система автоматического управления, или конкретней назвать автоматические устройства, позволяют сохранить данную комплектно трансформаторную подстанцию от коротких замыканий, перегруза, от электрического пробоя на оборудование, от резких скачков напряжения.

Чтобы система автоматического управления срабатывала своевременно и без конструктивных задержек, существует ряд определённых требований к трансформаторным подстанциям: Устойчивая работа автоматизации к виброударам и к помехам высокой частоты; Длительное время наработки на отказ автоматических блоков управления; Подбор автоматических блоков управления с запасом по

номинальному току на 15-20%, независимо от нагрузки; Простота конструкции и элементарная база автоматического устройства; Быстрота срабатывания защитных устройств по времени до 200 мс.

Система автоматического управления или устройства автоматического блока управления, должны пройти контроль качества и технические испытания от лицензированного производителя, подтверждающими лицензиями и сертификатами качества и безопасности использования данного устройства; Системы автоматического регулирования или автоматические блоки управления должны своевременно и безопасно обесточить рабочее электрооборудование, сохранив при этом целостность защитных мер и исполнительных устройств; На товар в обязательном порядке должна выдаваться гарантия от производителя.

На рынке товаров сейчас можно приобрести несколько видов систем автоматического управления илиавтоматических блоков управления, которые вполне способны удовлетворить своих покупателей и обеспечить безопасность комплектно трансформаторной подстанции на высоком уровне. Из производителей можно отметить фирмы «IEK», «Siemens», «APC».

Если затрагивать современные и технологические устройства, то можно приобрести на базе микроконтроллеров телеметрический комплект, но это совсем другой финансовый состав, как правило, более дорогой. От ценовой категории будет зависеть, соответственно, тип управления и вид оборудования трансформаторной подстанции.[3]

При работе электрооборудования комплектно трансформаторной подстанции и автоматическое включение резерва могут воздействовать электрические помехи, которые могут образовывать помехи внутреннего и внешнего характера, приводящие к искажению передачи энергии на линиях электропередач, а также сильно повлиять на работоспособность и характер работы силовых цепей и электрооборудования.

Помеха – это непредусмотренный вид сигнала, который способен нарушить бесперебойность и целостность электрооборудования, способствующий к выходу из строя в любой момент.

Внутренние помехи – помехи, которые возникают внутри силовой части электрической цепи и электрооборудования. Такой вид помех, как правило, возникает в блоках распределения и подачи питания и на токоразделяющих цепях. Также источником таких помех могут являться дросселя у трансформаторов. Внутренние помехи способны создавать электромагнитный контур, способствующий подавлять сигналы, которые передают электрооборудование.

Внешние помехи – это помехи, вызывающие радиоэлектронным оборудованием, силовым электрооборудованием трансформатора, вызывающие разрядами статического воздействия. Приёмниками такого типа помех могут являться высокочувствительные усилители, линии связи, магнитные элементы. Помехи могут передаваться по проводникам с высокой скоростью и способны моментально нарушить работоспособность элементов электрооборудования, автоматики и средств защиты.

Методы профилактических мер для избегания типов помех для электроустановок промышленного характера: Увеличение влияния элементов силовых цепей за счёт уменьшения габаритов и увеличение плотности между самим электрооборудованием; Рост помех может возникать из-за конструктивных усложнений сбольшим числом механических узлов управления;

Снизить число помех поможет установкой сигнальной цепи, которая поможет предотвратить появление помех внутри оборудования и внешнего появления.[4]

Надёжность систем автоматики и релейной защиты должна обладать высоким числом показателей на отказ, моментальным срабатыванием с минимальной задержкой по времени и длительностью времени на отказ. Системы автоматики и релейной защиты, должны обладать высокой степенью экологии и возгорания.

Кроме того, защитные средства должны быть абсолютно безопасным оборудованием в случае необходимости их обслуживания, или замены.

Основные требования к защитным средствам автоматизации при замене и обслуживания электрооборудования: Корпуса релейной защиты и элементов автоматизации должны быть компактными, не пренебрегая к большим габаритам; Материалы электротехнического оборудования не должны выделять токсичных, радиоактивных и химических веществ; Заводская защита от токов короткого замыкания, перегруза, встроенные элементы заземления; Минимальное время задержки по времени, в случае срабатывания элементов защиты; Крепежные части элементов автоматики не должны травмировать обслуживаемый персонал и не вызывать затруднений при установке, или демонтаже оборудования;[5]

Готовые комплекты систем автоматической защиты на элементах систем автоматического управления и автоматических блоков управления можно укомплектовать по желанию заказчика, по самым желаемым требованиям. Как правило такие автоматизированные средства защиты в виде готового комплекта позволяют

контролировать рабочие режимы электрооборудования, экономить электроэнергию силовой части, самопроизвольно включать и отключать защитные средства и увеличить срок службы эксплуатации электрических аппаратов комплектно трансформаторной подстанции.

В качестве вывода хочется сказать и отметить несколько факторов, что технологии в электроэнергетике не стоят на месте.

Электрооборудование постоянно совершенствуется, модернизируется, улучшаются конструктивные элементы. Это способствует обеспечить более лучшую защиту для трансформаторов во всех аспектах, экономить деньги и электроэнергию. В качестве положительных факторов можно отметить, что не нужно пренебрегать высококвалифицированный персонал, что способствует найти и устранить неполадки за минимальное время. Разумеется, существуют готовые комплекты микропроцессорного управления, но, во-первых, они достаточно дорогие, несмотря на то, что они обеспечивают лучшую безопасность работы, а во-вторых требуется для обслуживания квалифицированный персонал, который должен разбираться в элементарной базе и, при необходимости устранить неполадки, или заменить качественно оборудование.

Научный руководитель: старший преподаватель С.А. Нечаев

Литература:

1. Ляпушкин С.В. Комплексная автоматизация технологических процессов. – Томск: Издательство ТПУ, 2014. - 50с.
2. Красник В.В. Эксплуатация электрооборудования электрических подстанций и распределительных устройств. – М: Издательство НЦ «ЭНАС» 2011, - 320с.
3. Надеин В.Ф., Петухов С.В., Радюшин В.В. Релейная защита и автоматика. – Архангельск: Издательство САФУ, 2015. – 98 с.
4. Старостин А.А. Лаптева А.В. Технические средства автоматизации и управления. Учебник для ВУЗов, Екатеринбург УрФУ: Издательство «Урал». 2015. - 170с.
5. Селенцов Л.И. Автоматизация технологических процессов. – М: Издательский центр «Академия», 2014. - 25с.
6. Голдобин Ю.М., Павлюк Е.Ю. Автоматизация теплоэнергетических установок: учеб.пособие / Ю.М. Голдобин, Е.Ю. Павлюк. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – 186с.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Руководитель секции
зав. кафедрой Промышленной теплоэнергетики
докт. техн. наук, профессор А.А. Федяев

С.Р. Алимкулова
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
svetlanaalimkulova@mail.ru

ПРЕИМУЩЕСТВА НЕЗАВИСИМОЙ СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) – это устройство, предназначенное для транспортировки тепловой энергии от тепловой сети (ТЭЦ, ЦТП, котельной) к внутридомовым системам: отопление, ГВС – горячее водоснабжение, вентиляция. Располагается, как правило, в подвальном или техническом помещении дома.

Работа теплового пункта происходит следующим образом. Из тепловой сети теплоноситель, в качестве которого выступают пар или горячая вода, подается в теплообменник. С поверхностью, которого контактирует подаваемая от водовода холодная вода, которая, нагреваясь до определенной температуры, поступает на водозаборные точки объекта и в систему отопления.

В закрытых системах весь отдавший энергию теплоноситель по обратному трубопроводу поступает обратно в ТЭЦ или котельную, в открытых он частично расходуется на нужды горячего водоснабжения.

Такое оборудование имеет ряд значительных преимуществ:

– простота в обслуживании и эксплуатации;

– сокращение теплопотерь в системах горячего водоснабжения;

– уменьшение расхода электроэнергии на циркуляцию и перекачку горячей воды;

– снижение эксплуатационных расходов;

– сокращение расхода топливных ресурсов;

– возможность контроля состояния тепловых сетей;

– точное определение объемов теплопотерь, благодаря узлам учета;

– уменьшение числа плановых или аварийных отключений;

– сокращение выброса вредных веществ в атмосферу и, как следствие, улучшение экологической ситуации;

– бесшумная работа;

– высокий уровень комфорта: устранение перетопов за счет автоматического регулирования подачи теплоносителя;

– повышение качественных параметров ГВС за счет приготовления воды в теплообменнике;

Применение зависимой схемы предполагает поступление теплоносителя в системы теплопотребления здания непосредственно из тепловой сети. При этом регулирование температуры поступающей в систему отопления воды осуществляется за счет смешивания с обратной водой. Основным достоинством таких систем является ее простота с конструктивной точки зрения и экономическая выгода, как по капитальным, так и по эксплуатационным затратам

В независимой же схеме для присоединения к внешнему источнику тепла используется теплообменник.

Достоинством данной схемы является то, что отопительный контур независим от гидравлических режимов централизованной тепловой сети. Также система отопления не страдает от несоответствия качества входящего теплоносителя, поступающего из центральной тепловой сети (наличия продуктов коррозии, грязи, песка и т.д.), а также перепадов давления в ней. В то же время стоимость капитальных вложений при применении независимой схемы больше – по причине необходимости установки и последующего обслуживания теплообменника.

Таким образом, можно сделать вывод, что следует отдать предпочтение независимой схеме подключения теплового пункта к тепловой сети, несмотря на высокую стоимость капитальных вложений.

Научный руководитель: к.т.н. А.Е. Кондратьев

Литература:

1. Пырьков В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – К.: II ДП «Такие дела», 2008. – 252 с.

2. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 274 с.

К.Е. Ашурмамедова
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ,
г. Братск,
ashurmamedova@inbox.ru

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗ) является одним из методов акустического неразрушающего контроля, использующим механические колебания упругой среды, частота которых лежит за порогом слышимости человеческого уха, т.е. выше 20 кГц. Обычно для ультразвукового контроля применяют колебания частотой 0,5-10 МГц.

Ультразвуковая дефектоскопия — метод, позволяющий осуществлять поиск дефектов в материале ОК (объекта контроля) путём излучения и принятия ультразвуковых колебаний, отраженных от внутренних несплошностей (дефектов), и дальнейшего анализа времени их прихода, амплитуды, формы и других характеристик с помощью специального оборудования — ультразвуковых дефектоскопов.

Сейчас УЗ дефектоскопия, наряду с радиографическим контролем, является одним из самых распространенных методов неразрушающего контроля.

Первые попытки осуществить неразрушающий контроль ультразвуковой волной предпринимались с 1930 года. А уже спустя 20 лет ультразвуковой контроль качества сварных соединений приобрел наибольшую популярность по сравнению с другими методами контроля качества сварки. Кроме того, для некоторых изделий он стал обязательным. Наиболее распространенным способом возбуждения ультразвуковых волн в контролируемом объекте и приема волн, прошедших через объект, является использование пьезоэлектрических преобразователей. Для возбуждения волн используется обратный пьезоэлектрический эффект, а для их приема – прямой пьезоэлектрический эффект.

Для получения и приема УЗК используют пьезоэлектрический эффект.

Прямой пьезоэлектрический эффект – это явление возникновения разности потенциалов на гранях пьезоэлектрика при воздействии на них механической нагрузки.

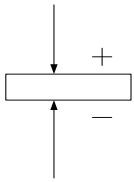


Рис.1. Прямой пьезоэлектрический эффект.

Обратный пьезоэлектрический эффект – это изменение геометрической формы пьезоэлектрика при воздействии на его грани разности потенциалов.

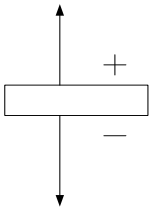


Рис.2. Обратный пьезоэлектрический эффект.

Для получения УЗ колебаний используется обратный пьезоэлектрический эффект. Для приема – используется прямой.

Ультразвуковая дефектоскопия включает следующие методы:

1. Теневой метод контроля - предполагает доступ к изделию с двух сторон, и реализуется при раздельной схеме включения ПЭП. В этом случае ультразвук излучается одним ПЭП (И), проходит через контролируемое изделие и принимается другим ПЭП (П) на другой стороне. Признаком дефекта при теневом методе является уменьшение ниже порогового уровня или пропадание сигнала прошедшего через контролируемое изделие. Метод обладает высокой чувствительностью, но не дает информации о глубине залегания дефекта;

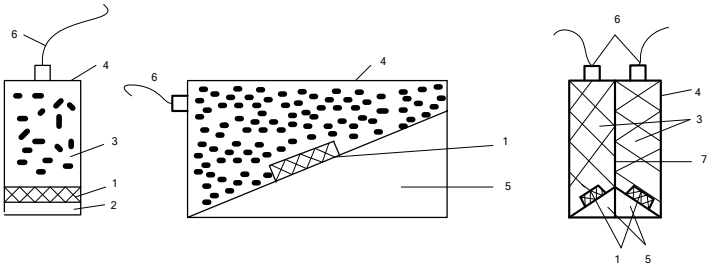
2. Зеркально-теневой метод можно реализовать либо одним прямым, либо двумя наклонными преобразователями. Приемник регистрирует сигнал, отраженный от противоположной стороны (донной), который называют «донным» сигналом. Ультразвук проходит изделие два раза, что повышает чувствительность контроля. Можно работать также по второму и последующим донным сигналам, причем чувствительность при этом будет увеличиваться. В отличие от теневого метода ЗТМ не требует двухстороннего доступа к изделию, но при использовании прямых ПЭП также не дает информации о глубине залегания дефекта.

3. Признаком дефекта при ЗТМ контроля является пропадание донного сигнала или его ослабление ниже порогового уровня.

4. Зеркальный метод реализуется при прозвучивании изделия двумя преобразователями, которые размещены на поверхности сканирования, таким образом, чтобы фиксировать одним преобразователем сигнал, излучаемый другим. Сигнал отражается от донной поверхности и от плоскости дефекта, поступая на приемник.

5. Эхо-импульсный метод основан на посылке в изделие коротких ультразвуковых сигналов (зондирующих импульсов) и регистрации сигналов (эхосигналов), отраженных от выявляемых дефектов. Признаком дефекта при эхо - методе контроля является по явление в зоне контроля эхо-сигнала с амплитудой выше порога срабатывания АСД при заданной чувствительности дефектоскопа.

Рассмотрим устройство пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП). ПЭП применяются в ультразвуковой дефектоскопии, выступая в качестве излучателя и приемника ультразвукового импульса обрабатываемого УЗ дефектоскопом. Принцип действия ПЭП основан на пьезоэлектрическом эффекте – явлении возникновения электрической поляризации под действием механических напряжений.



1-пьезоэлемент, 2-протектор, 3-демпфер, 4-корпус, 5-призма, 6-токопровод, 7-электрический и акустический экран

Рис. 3. Устройство ПЭП

По углу ввода колебаний различают:

1. Прямые преобразователи вводят и (или) принимают колебания по нормали к поверхности объекта контроля в точке ввода.

2. Наклонные преобразователи вводят и (или) принимают колебания в направлениях отличных от нормали к поверхности объекта контроля.

По способу размещения функций излучения и приема УЗ сигнала различают:

1. Совмещенные ПЭП где один и тот же пьезоэлемент, работает как в режиме излучения так и в режиме приема.

2. Раздельно-совмещенные преобразователи, где в одном корпусе размещены два и более пьезоэлемента, один из которых работает только в режиме излучения, а другие в режиме приема.

По частоте колебаний:

1. Высокочастотные УЗ ПЭП условно можно ограничить диапазоном 4-5 МГц, такую частоту обычно применяют при контроле мелкозернистых заготовок небольшой толщины (обычно менее 100мм) и сварных соединений толщиной менее 20мм.

2. Среднечастотные УЗ ПЭП с диапазоном частот 1,8-2,5 МГц. Преобразователи с данным диапазоном частот применяются для контроля изделий большей толщины и с большим размером частиц.

3. Низкочастотные УЗ ПЭП с диапазоном частот 0,5-1,8 МГц, используются для контроля заготовок с крупнозернистой структурой и высоким коэффициентом затухания, например чугуна, бетона или пластика.

По способу акустического контакта:

1. Контактные ПЭП где рабочая поверхность соприкасается с поверхностью ОК или находится от нее на расстоянии менее половины длины волны в контактной жидкости.

2. Иммерсионные которые работают при наличии между поверхностями преобразователя и ОК слоя жидкости толщиной больше пространственной протяженности акустического импульса.

По типу волны возбуждаемой в объекте контроля:

1. Продольные волны – колебания которых происходит вдоль оси распространения;

2. Сдвиговые (поперечные) волны – колебания которых происходит перпендикулярно оси распространения;

3. Поверхностные волны (волны Реллея) – распространяющиеся вдоль свободной (или слабонагруженной) границы твердого тела и быстро затухающие с глубиной.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. Методы ультразвуковой дефектоскопии и их реализация в дефектоскопе Авикон-11 [Электронный ресурс]. – URL: https://studfiles.net/preview/6319260

2. Клюев В.В. Неразрушающий контроль 2008 г.

3. ГОСТ Р 56542-2015 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов».

4. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль. Акустические методы контроля 1991 г.

И.С. Белецких, А.А. Банных
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ,
г. Братск,
igorbratck@mail.ru

МЕРЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Прогрессивные технологии позволяют повысить долговечность тепловых сетей, увеличить их надежность и одновременно повысить экономичность транспорта тепла.

Ниже приводится краткая характеристика таких технологий.

1) Бесканальная прокладка теплопроводов типа «труба в трубе» с пенополиуретановой изоляцией в полиэтиленовой оболочке и системой контроля увлажнения изоляции.

Такие теплопроводы позволяют на 80 % устранить возможность повреждения трубопроводов от наружной коррозии, сократить потери тепла через изоляцию в 2-3 раза, снизить эксплуатационные расходы по обслуживанию теплотрасс, снизить в 2-3 раза сроки строительства, снизить в 1,2 раза капитальные затраты при прокладке теплотрасс по сравнению с канальной прокладкой. Пенополиуретановая изоляция рассчитана на длительное воздействие температуры теплоносителя до 130ºС и на кратковременное пиковое воздействие температуры до 150ºС. Необходимое условие надежной и безаварийной работы трубопроводов тепловых сетей - наличие системы оперативно-дистанционного контроля (ОДК) изоляции. Данная система позволяет контролировать качество монтажа и сварки стального трубопровода, заводской изоляции, работ по изоляции стыковых соединений. Система включает в себя: сигнальные медные проводники, заложенные во все элементы теплосети; терминалы по трассе и в местах контроля (ЦТП, котельная); приборы для контроля: переносные для периодического и стационарные для непрерывного контроля. Система основана на измерении проводимости теплоизоляционного слоя, которая изменяется при изменении влажности. Контроль за состоянием ОДК в процессе эксплуатации трубопровода осуществляется с помощью детектора. Один детектор позволяет одновременно контролировать две трубы до 5 км каждая. Точное местоположение поврежденного участка определяется с помощью переносного локатора. Один локатор позволяет определить место повреждения на расстоянии до 2 км от точки его подключения. Срок службы тепловых сетей с пенополиуретановой изоляцией прогнозируется на уровне 30 лет.

2) Сильфонные компенсаторы, в отличие от сальниковых, обеспечивают полную герметичность компенсационных устройств, уменьшают эксплуатационные затраты.

3) Шаровая запорная арматура повышенной плотности, шаровая запорно-регулирующая арматура с гидроприводом, применяемая в качестве клапанов «рассечки», позволяет улучшить эксплуатационные характеристики арматуры и коренным образом изменить существующие схемы защит систем отопления от повышения давления.

4) Внедрение новых схем регулирования производительности насосно-перекачивающих станций с применением частотно-регулируемых приводов, использование схем защиты от повышения давления в обратной магистрали при остановке насосной позволяет значительно улучшить надежность работы оборудования и снизить расход электроэнергии при работе этих станций.

5) Вентиляция каналов и камер направлена на снижение тепловых потерь через изоляцию теплопроводов, что является одной из важнейших задач эксплуатации тепловых сетей. Одной из причин повышенных теплопотерь через изоляцию теплопровода подземной прокладки является ее увлажнение. Для уменьшения влажности и снижения тепловых потерь необходимо вентилировать каналы, камеры, что позволяет поддерживать влагосостояние тепловой изоляции на уровне, обеспечивающем минимальные тепловые потери.

6) Около трети повреждения тепловых сетей обусловлены процессами внутренней коррозии. Даже соблюдение нормативной величины утечек тепловых сетей, равной 0,25 % объема всех трубопроводов, что составляет 30000 т/ч, приводит к необходимости жесткого контроля качества подпиточной воды.

Основным параметром, на который можно воздействовать, является значение водородного показателя (pH).

Повышение значения pH сетевой воды является надежным способом борьбы с внутренней коррозией при условии поддержания в воде нормируемого содержания кислорода. Высокая степень защиты трубопроводов при pH 9,25 определяется изменением свойств железооксидных пленок.

Уровень повышения pH, обеспечивающий надежную защиту трубопроводов от внутренней коррозии, существенным образом зависит от содержания сульфатов и хлоридов в сетевой воде. Чем больше концентрация в воде сульфатов и хлоридов, тем выше должно быть значение pH.

Одним из немногих способов продления рабочего ресурса тепловых сетей, прокладываемых стандартным способом, исключая трубопроводы в ППУ изоляции являются антикоррозионные покрытия.

Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования тепловых сетей применяется при всех видах прокладки независимо от температуры теплоносителя. Теплоизоляционные материалы непосредственно контактируют с внешней средой, для которой свойственно непрерывное колебание температуры, влажности и давления. Ввиду этого теплоизоляционные материалы и конструкции должны удовлетворять ряду требований. Соображения экономичности и долговечности требуют, чтобы выбор теплоизоляционных материалов и конструкции производился с учетом способов прокладки и условий эксплуатации, определяемых внешней нагрузкой на теплоизоляцию, уровнем грунтовых вод, температурой теплоносителя, гидравлическим режимом работы тепловой сети.

Новые виды теплоизоляционных покрытий должны иметь не только низкую теплопроводность, но и малую воздухо - и водопроницаемость, а также низкую электропроводность, что уменьшает электрохимическую коррозию материала труб.

Наиболее экономичным видом прокладки теплопроводов тепловых сетей является надземная прокладка. Однако с учетом архитектурно-планировочных требований, требований экологии в населенных пунктах основным видом прокладки является подземная прокладка в проходных, полупроходных и непроходных каналах. Бесканальные теплопроводы, являясь более экономичными в сравнении с канальной прокладкой по капитальным затратам на их сооружение, применяются в тех случаях, когда они по теплотехнической эффективности и долговечности не уступают теплопроводам в непроходных каналах.

Тепловая изоляция предусматривается для линейных участков трубопроводов тепловых сетей, арматуры, фланцевых соединений, компенсаторов и опор труб для надземной, подземной канальной и бесканальной прокладки.

Тепловые потери с поверхности трубопроводов увеличивается при увлажнении теплоизоляции. Влага к поверхности трубопроводов поступает при затоплении их грунтовыми и поверхностными водами. Другими источниками увлажнения теплоизоляции является естественная влага, содержащаяся в грунте. Если трубопроводы проложены в каналах, то на поверхности перекрытий каналов возможна конденсации влаги из воздуха и попадание ее в виде капель

на поверхность трубопроводов. Для снижения воздействия капель на тепловую изоляцию необходима вентиляция каналов тепловых сетей. Более того увлажнение теплоизоляции способствует разрушению труб из-за коррозии их внешней поверхности, что приводит к сокращению срока службы трубопроводов. Поэтому на металлическую поверхность трубы наносят антикоррозионные покрытия.

Таким образом, главными энергосберегающими мероприятиями, уменьшающими потери теплоты с поверхности трубопроводов, являются:

- изоляция неизолированных участков и восстановление целостности существующей теплоизоляции;
- восстановление целостности существующей гидроизоляции;
- нанесение покрытий, состоящих из новых теплоизоляционных материалов, либо использование трубопроводов с новыми типами теплоизоляционных покрытий;
- изоляция фланцев и запорной арматуры.

Научный руководитель: к.т.н. доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. В.И. Мишустин, Ю.А. Чистяков. Снижение тепловых потерь в тепловых сетях — одна из важнейших задач в общей проблеме энергосбережения. С.О.К., N 11, 2004

2. Данилов О.Л., Гаряев А.Б., И.В. Яковлев. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. М.: «Издательский дом МЭИ», 2010

К.С. Бороздина[а], М.Н. Гайнутдинов[б]
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ, г. Братск,
[а]kristina.borozdina.1997@mail.ru
[б]gainutdinov.marat@gmail.com

АРТЕЗИАНСКИЕ НАСОСЫ

Предназначение артезианский насосов состоит в подъеме жидкости в основном из буровых колодцев. В большинстве своём они поставляются в установочном комплекте, который включается в себя

сам насосный агрегат, трансмиссия, двигатель и водопроводные трубы. Исходя из этого артезианские насосы можно разделить на две группы:

1. Электродвигатель расположен на поверхности и соединён с погруженным в скважину на водоподъемных трубах насосом длинным трансмиссионным валом, проходящим внутри водоподъемных труб. Такие насосы имеют название артезианские и буквенное обозначение А, НА, АТН.

2. Электродвигатель защищен от контакта с перекачиваемой жидкостью и погружен вместе с насосом в скважину. Такие насосы имеют название артезианские – погружные и буквенное обозначение АП.

На сегодняшний день чаще всего используются насосы типов АТН и АП.

На рисунке 1 представлен центробежный артезианский насос АТН. Насосы типа АТН – многоколесные секционные насосы. Марку такого насоса, например, АТН-8 следует расшифровывать следующим образом, АТН – артезианский турбинный насос, цифра в марке насоса означает величину минимального диаметра рабочей колонный обсадных труб в мм, уменьшенную в 25 раз. Это происходит по причине того, что при бурении глубоких скважин, обсадные трубы очень часто искривляются, в подобной ситуации диаметр насоса должен быть меньше диаметра труб на 50 мм.

Насосный агрегат можно разделить на три основные части:

- насос
- напорный трубопровод с проходящим внутри него трансмиссионным валом
- опорная станина с установленным на ней электродвигателем

Раньше рабочие колеса выпускались открытого типа, но на данный момент рабочие колеса открытого типа используются только на АТН-16, все остальные снабжены рабочими колесами закрытого типа с односторонним всасыванием. Это обеспечивает более плавную нагрузку на двигатель. Используются колеса диагонального типа, количество рабочих колес колеблется от 3 до 22, в зависимости от требуемого напора.

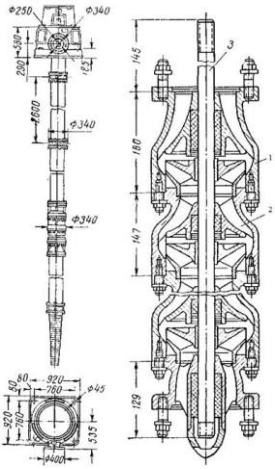


Рис. 1. Центробежный артезианский насос АТН
1 – рабочее колесо; 2- направляющий аппарат; 3 – вал.

Направляющий аппарат есть ничто иное как чугунная отливка, внутри которой располагаются пространно изогнутые лопатки, задающие направление движения среды от одного колеса к другому.

С помощью шпилек гайками и стопорными шайбами соединяются отдельные секции корпуса модернизированного насоса. В нижней части корпус соединяется со всасывающей трубой, которая оснащена механическим фильтром (сеткой) от засорения.

Напорный трубопровод собирается из отдельных секций с фланцевыми соединениями, внутри которого проложен трансмиссионный вал, который служит для передачи вращающего момента от электродвигателя к насосу. В местах стыков секций трубопровода размещаются чугунные кронштейны с резиновыми направляющими подшипниками приводного вала. На внутренней поверхности вкладыша изготавливаются осевые канавки, служащие для прохода воды и смазки шейки вала.

Подобно напорному трубопроводу приводной вал собирается из отдельных секций, но соединяется муфтовым соединением с левой резьбой, в следствие чего насос вращается вправо. Шейки валов покрывают хромом, это необходимая процедура, чтобы защитить их от износа и коррозии.

Опорой для электродвигателя и всего насоса служит опорная станина, она представляет собой чугунную отливку в форме усеченного конуса с квадратным основанием и коленом, к которому

крепятся напорный трубопровод, выходящий из скважины, и трубопровод, отводящий воду к потребителю. Так же в станине расположены подшипники, забирающие на себя осевые нагрузки.

На рисунке 2 представлен общий вид агрегата с артезианским погружным насосом АП. Насос типа артезианский погружной представляет собой комплектный агрегат, состоящий из насоса и двигателя, соединённых между собой жесткой муфтой. В данном варианте электродвигатель располагается внизу, а насос наверху.

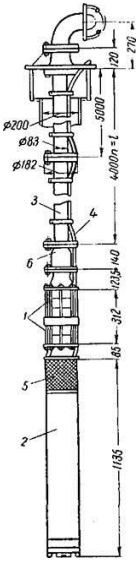


Рис. 2. Общий вид агрегата а артезианским погружным насосом АП. 1 – насос; 2 – двигатель; 3 – напорный трубопровод; 4 – кабель; 5 – механический фильтр; 6 – отборный клапан.

Вода поступает через механический фильтр (сетку), располагающийся между двигателем и насосом, а нагнетается непосредственно в напорный трубопровод через обратный клапан. Данная конструкция опускается в скважину на трубах, а подвод электроэнергии происходит через продолженный кабель.

Сам насос, представленный на рисунке 3 вертикального исполнения, многоступенчатого секционного типа. Рабочие колеса крепятся на вал с помощью шпонки. Через нижний патрубок среда поступает на первое колеса. После прохождения колеса, среда попадет в направляющий аппарат, которым подводится к приемному отверстию следующего колеса. Между следующим колесом и

направляющим аппаратом находится промежуточный диск, одна из сторон которого является боковой стенкой отводного клапана направляющего аппарата, а другая образует кольцевой подвод к следующему рабочему колесу насоса. Собранный данным способом пакет помещается в трубчатый корпус и зажимается с обоих концов накидными гайками с патрубками, внутри которых расположены кронштейны подшипников с запрессованными лигнофолевыми вкладышами.

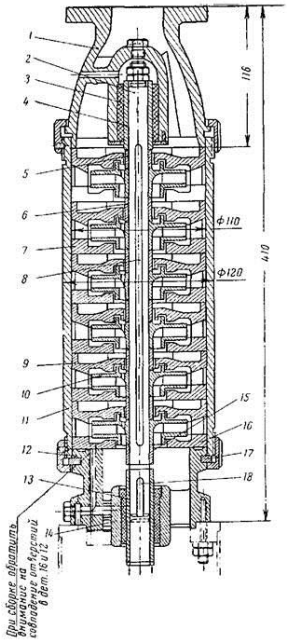


Рис. 3. Погружной артезианский насос типа АП
1 – напорный патрубок; 2 – вал; 3 и 14 – лигиофолевый вкладыш; 4 – втулка подшипника; 5,6 и 15 – дистанционные втулки; 7 и 16 – промежуточные диски: 8 – шпонка; 9 – направляющий аппарат; 10 – рабочее колесо; 11 – трубчатый корпус; 12 – входной патрубок; 13 – соединительная муфта вала; 17 – закладное кольцо из двух половин; 18 – шпонка.

Рабочие колеса фиксируются с помощью промежуточных втулок, смазка подшипников водяная. Перед погружением в скважину в корпус электродвигателя заливается чистая вода, а вода скважины охлаждает корпус.

Обмотка статора двигателя выполнена из медной проволоки с полихлорвиниловой изоляцией, это позволяет ей осуществлять длительную работу в воде без повреждений.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Федяева В.Н.

Литература:

1. Устройство артезианских насосов. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ngpedia.ru/id179568p1.html
2. Артезианские насосы. [Электронный ресурс]. – URL: http://hydrotechnics.ru/nasos/nasosni35.html
3. Ремонт погружных насосов. [Электронный ресурс]. – URL: http://byrenieprо.ru/nasosy-skvagin/remont-svoimi-rukami.html

А.П. Власенко, Д.В. Савченков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

apv9@tpu.ru

НОВЫЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТВЁРДОМ ТОПЛИВЕ

Введение. В настоящее время запасы угля являются наиболее распространёнными и будут оставаться таковыми и в будущем. Уголь более всего используется при производстве электроэнергии: около 40% производимой в мире электроэнергии вырабатывается путем сжигания угля [1]. Проблемой является то, что, в то же время, использование твёрдого топлива загрязняет окружающую среду. Одним из путей решения этой проблемы является применение “чистых” технологий переработки (использования) угля. В отношении "стандартных" и традиционных загрязнителей, таких как: сернистые оксиды, азотистые оксиды, летучая зола и полициклические ароматические углеводороды и сажа существует множество апробированных технологий сокращения их выбросов в окружающую среду при достаточно приемлемых затратах, и в ряде стран существующие тепловые электростанции уже сегодня обеспечивают допустимые уровни по выбросу загрязнителей.

По стадии, на которой осуществляется воздействие на топливо и получаемые продукты переработки, различают следующие технологии:

1) предварительной подготовки сырья, где его переработка осуществляется до момента использования в процессе сжигания или газификации;

2) чистые угольные энерготехнологии сжигания и газификации — в них высокие экологические и технологические показатели достигаются в процессе переработки топлива;

3) обработки продуктов, образующихся в ходе термохимической переработки топлива.

Для применения “чистых” технологий переработки (использования) угля используют различные виды газогенераторов.

Виды и описание газогенераторов.

-Слоевые газогенераторы. Действовало более 800, в том числе 30 газогенераторов «Лурги» с ед. мощностью по углю 45 тонн/час.

-Газогенератор Винклера с кипящим слоем. Было создано более 40 штук с ед. мощностью по углю до 35 тонн/час.

-Пылеугольные газогенераторы Копперса-Тотцека. К 1970-м годам эксплуатировали более 50 аппаратов с ед. мощностью до 28 тонн/час по углю [2].

На сегодняшний день можно выделить четыре типа газогенераторов с основополагающими инженерными решениями.

1.Газогенератор Фрица Винклера (концерн BASF, 1926 г.) с кипящим слоем. Послужил основой для современных процессов HTW (Hoch-Temperatur Winkler), KRW (Kellogg-Rust-Westinghouse) и др.

2.Разработка фирмы «Лурги». Слоевые газогенераторы, с единичной мощностью по углю до 45 т/ч. В большинстве современных промышленных газогенераторов используется повышенное давление для интенсификации процесса газификации [3].

3.Разработанный Генрихом Копперсом и Фридрихом Тотцеком в 1944-45 гг. пылеугольный газогенератор с жидким шлакоудалением. Впервые аппарат такого типа был построен в 1952 году в Финляндии. Этот тип газификации был реализован в пром. аппаратах Destec, Shell, Prenflo, разработанных на основе газогенератора Копперса-Тотцека. В слоевом генераторе BGL (British Gas-Lurgy), разработанном на основе газогенератора Лурги реализована технология удаления шлака в жидком виде.

4.Газификаторы для переработки тяжёлых нефтяных остатков фирмы Техасо, разработанные в 1950-х годах, были построены в количестве более 160 установок. В 1970-х разработали модификацию

аппарата Texaco для газификации водо-угольной суспензии. Газогенераторы Destec также используют принцип подачи угля в виде водо-угольной суспензии [4].

Технология производства синтез-газа. Процесс “Лурги”, вероятно, является самым известным. В настоящее время этот метод применяется в ЮАР для производства синтетического газа со средней теплотой сгорания, который используется в качестве промежуточного при получении моторных топлив и различных химических соединений. Преимуществом процесса “Лурги” является то, что он протекает при повышенном давлении, что значительно увеличивает производительность установки и снижает затраты на повышение давления первичного газа, который содержит около 10 % метана, т. е. наиболее оптимальное количество для дальнейшего обогащения до получения заменителя природного газа(ЗПГ). В связи с образованием побочных продуктов в виде смол, фенола, бензина и подсмольной воды с содержанием NH_3, данный процесс требует обязательного применения воды для их удаления. Дальнейшее совершенствование процесса “Лурги” направлено на повышение его производительности при одновременном снижении потребности в паре с помощью повышения рабочей температуры и разработки метода выгрузки шлака для удаления золы.

Процесс газификации “Винклер”, основанный на переработке угля в кипящем слое при атмосферном давлении, в настоящее время также находит промышленное применение. Однако в связи с ограничениями температурного режима при данном процессе могут использоваться лишь угли с высокой реакционной способностью; в некоторых странах с его помощью газифицируются исключительно лигниты. Конструкция газификационной установки очень проста, но в процессе переработки в итоге остается большое количество углерода, а для 90 %-ной переработки углерода необходима неоднократная рециркуляция летучей золы. Процесс чрезвычайно легко приспосабливается к любым нагрузкам, и с его помощью может быть достигнута очень высокая производительность газификационной установки. Процесс “Винклер” явился одним из первых, который смогли приспособить к успешной работе. Большинство имеющихся в настоящее время в эксплуатации установок “Винклер” используются для получения водорода. Недостатком таких газификационных установок является низкое содержание метана в получаемом газе (от 1 до 5%), что обусловливает необходимость дополнительного его метанирования, тогда как при других методах получения синтетического газа в этом нет необходимости. Последние

исследования по совершенствованию процесса “Винклер” предусматривают повышение его рабочей температуры и давления до таких величин, которые позволят улучшить состав газа и обеспечат возможность с помощью данного процесса газифицировать угли с более низкой реактивной способностью (угли с низким содержанием летучих).

Процесс “Копперс - Тотцек” (КТ) может применяться для газификации всех марок углей: от бурых с максимальным содержанием летучих до антрацитов с минимальным их содержанием. Новые газификационные установки с четырьмя реакторами могут развивать производительность до 50000 $м^3$/ч исходного газа. Все заводы по производству аммиака, построенные с 1960 г., основаны на использовании процесса КТ для получения синтетического газа. В связи с тем, что рабочая температура данного процесса очень высокая, исходный газ не содержит метана. Процесс КТ не требует использования воды, так как при нем практически не образуются ни смолы, ни другие жидкие углеводороды. Однако в связи с тем, что газификаторы КТ работают при атмосферном давлении, для дальнейшего использования рабочий газ приходится подвергать сжатию, а высокая температура протекания процесса, необходимая для удаления золы в виде образовавшегося шлака, обусловливает потребность в относительно интенсивном парокислородном дутье. Установки для газификации довольно просты в эксплуатации, а динамическое качество их работы особенно устойчиво. Выполненная компанией “Шел энд Копперс” модернизация процесса позволила достичь на опытной установке с повышенным давлением (процесс “Шел-Копперс”) производительности 150 т/сут, при этом исключалась необходимость последующего повышения давления получаемого газа, а также сокращались размеры и стоимость газификационного оборудования.

В настоящее время все новые технологии разрабатываются с учетом протекания процесса газификации при повышенном давлении. Это обеспечивает следующие преимущества: увеличивается производительность установки, снижается необходимость последующего сжатия полученного газа, уменьшаются размеры сопутствующего оборудования, облегчается возможность применения различных способов очистки полученного газа, обеспечивается более высокое содержание метана в исходном продукте.

Процесс газификации выполняется в несколько стадий с тем, чтобы каждая стадия с химической, термальной и технологической точек зрения протекала в оптимальных условиях. Конечная цель всех

этих процессов - получение ЗПГ. Другим направлением разработки является получение синтетического газа под давлением при относительно простом в конструктивном отношении оборудовании. Примерами таких технологий являются процессы “Тексако” и “Саарберг-Отто” [5].

Собственно, процесс газификации требует до 30% общего количества угля, сжигаемого с кислородом для получения необходимого тепла. Данное количество угля теряется для поддержания процесса газификации. В странах с высокой себестоимостью добычи, например, в Европе, такие потери при производстве газа невыгодны с экономической точки зрения [6].

Также ведутся работы по применению синтетического газа, получаемого с помощью газификации угля, в качестве топлива для прямого производства электроэнергии, например, замена природного газа в парогенераторных установках(ПГУ). Этот перспективный способ в случае массового применения в ПГУ может повысить эффективность работы тепловых и энергетических установок [7].

Заключение. В России более 70% оборудования ТЭС выработало свой срок службы, и поэтому оно требует замены и обновления [8]. Россия располагает около 36% запасов мирового угля [8], поэтому его грамотное использование с помощью угольных технологий поможет обеспечить страну электрической и тепловой энергией, а также продуктами химической промышленности на долгие годы и при этом быть менее зависимой от дешёвой нефти и природного газа. Электростанции, использующие ПГУ с газификацией угля гораздо экологичнее, нежели обычные ТЭС. КПД таких электростанций выше, а значит себестоимость электроэнергии тоже снижается. Также, такие электростанции имеют широкий диапазон используемых видов топлива, в том числе дешевых и низкокачественных.

Научный руководитель: старший преподаватель А.Ю. Долгих.

Литература:

1. Вафина Ю.А., Энергосбережение за счет использования альтернативных источников энергии и вторичных энергоресурсов: Россия и мировой опыт // Вестник Казанского технологического университета. 2012.

2. Капелович Д.Б., Караманян А.К. Технология газификации угля в комбинированном слоевом газогенераторе для теплоэнергетики // Энергетик, 2012, №5

3. Щеналов А.А., Тяжёлые нефти, газовые гидраты и другие перспективные источники углеводородного сырья, Учебное методическое пособие

4. Исламов, Сергей Романович. Энерготехнологическая переработка угля / С.Р. Исламов. – Красноярск: Поликор, 2012.

5. Бекаев Л.С., Марченко О.В., Пинегин С.П. и др. Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию – Новосибирск: Наука, 2000. – 300 с.

6. Саламов А.А. Международная деятельность в области экологически чистых технологий использования угля // Энергетик. – 2008.

7. Энергетик производственно-массовый журнал // Российская Федерация, Министерство топлива и энергетики (Минтопэнерго); "Энергопрогресс". — М.: Энергопрогресс, № 12, 2014.

8. Кузовкин А.И., Энергетический кризис и энергореформа в России: конкуренция вместо надежности // журнал Проблемы прогнозирования. 2006.

М.Н. Гайнутдинов[a], К.С. Бороздина[b]
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ, г. Братск,
[a]gainutdinov.marat@gmail.com
[b]kristina.borozdina.1997@mail.ru

ОРГАНИЗЦИЯ РЕМОНТА ЗАПОРНО РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ

На всех предприятиях, в эксплуатации которых находится запорно-регулирующая арматура (далее арматура) предусмотрен персонал, отвечающий за планирование, организацию и контроль ремонта. Так же в их обязанности входит контроль: периодичности объема работ; длительность ремонта; организация безопасного выполнения ремонтных работ; ведения эксплуатационной и ремонтной документации; качества ремонтов и ревизии.

Согласно ГОСТ 2.602 ремонт арматуры выполняется в соответствии с ремонтной документацией, согласованной и утверждённой в установленном порядке с учетом правил техники безопасности и охраны труда.

Важнейшими показателями качества ремонта арматуры можно считать: герметичность относительно окружающей среды; герметичность затвора; функционирование арматуры.

На основе этих показателей условно можно разделить ремонт на его типовые виды, такие как: текущий ремонт (РТ); средний ремонт (РС); капитальный ремонт (РК)

Текущий ремонт производится для восстановления арматуры в исправное или работоспособное состояние. Стоимость текущего ремонта относительно стоимости вновь изготовленной арматуры должна колебаться в диапазоне от 5 до 15%. В ходе текущего ремонта восстанавливаются изношенные поверхности, заменяются детали и узлы с минимальными материальными, финансовыми и трудовыми затратами. Ремонт может производится с демонтажем и без демонтажа арматуры.

Текущий ремонт включает следующие действия:

1) частичная разборка;

2) частичная очистка деталей узлов;

3) замена сальниковой набивки;

4) ремонт уплотнительных поверхностей по средствам притирки и шлифовки;

5) контроль уплотнительных поверхностей на соответствие параметров шероховатости и волнистости;

6) проведение пневмо-гидравлических испытаний фланцевых соединений, сальников, затворов.

На рисунке 1 приведен технологический маршрут ремонта из условий восстановления функционирования базовых деталей (корпус, крышка) и запирающий или регулирующий элемент затвора.

Основным отличием текущего ремонта от других видов ремонта и технического обслуживания является:

1) для восстановления уплотнительных поверхностей затворов использоваться только доводочные операции шлифовки и притирки (операция 02);

2) контроль уплотнительных поверхностей только по параметрам шероховатости и волнистости (операция 03);

3) проведение пневмо-гидравлических испытаний (операция 05).

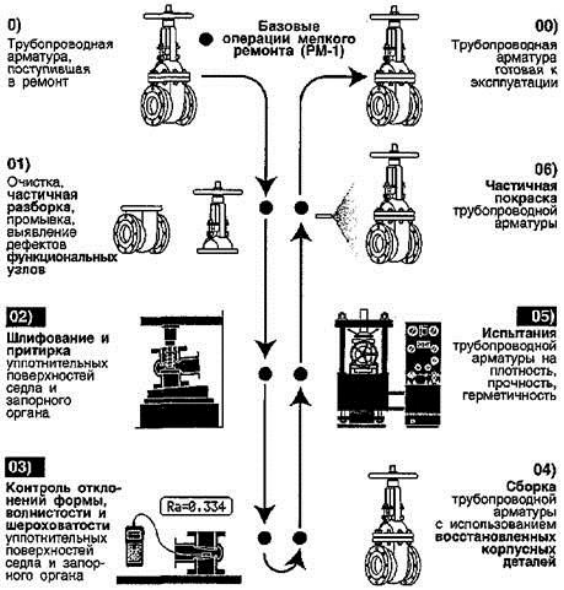


Рис. 1. Технологический маршрут текущего ремонта

Средний ремонт производится для восстановления арматуры в исправное или работоспособное состояние и восстановления ресурса отдельных узлов. Стоимость среднего ремонта относительно стоимости вновь изготовленной арматуры должна колебаться в диапазоне от 15 до 30%. В ходе среднего ремонта восстанавливаются изношенные поверхности, заменяются детали и узлы с использованием специфичных операций или оборудования. Средний ремонт производится стационарно на демонтированной арматуре, при наличии специального оборудования, может проводиться без демонтажа арматуры.

Средний ремонт включает следующие операции:

1) полная или не полная разборка;

2) полная или неполная очистка деталей и узлов;

3) дефектовка быстроизнашивающихся деталей и узлов, в том числе крепежных;

4) дефектовка подвижных и неподвижных уплотнительных поверхностей, фланцев, сальников, запирающих элементов;

5) замена сальниковой набивки, выработавших свой ресурс откидных болтов, шпилек, гаек, прокладок;

6) восстановление уплотнительных поверхностей с использованием специализированного оборудования;

7) контроль шероховатости, волнистости уплотнения затвора, угловых размеров и погрешностей положения уплотнений;

8) проведение неполного объема кинематических, пневмо-гидравлических испытаний.

На рисунке 2 приведен технологический маршрут среднего ремонта из условия восстановления наиболее значимых функционально деталей арматуры.

Основным отличием среднего ремонта от других видов является:

1) обязательное использование специализированного инструмента для восстановления уплотнительных поверхностей (операция 02);

2) контроль шероховатости, волнистости, угловых размеров, погрешностей положения уплотнений (операции 03,05);

3) проведение неполного объема кинематических и пневно-гидравлических испытаний (операция 07).

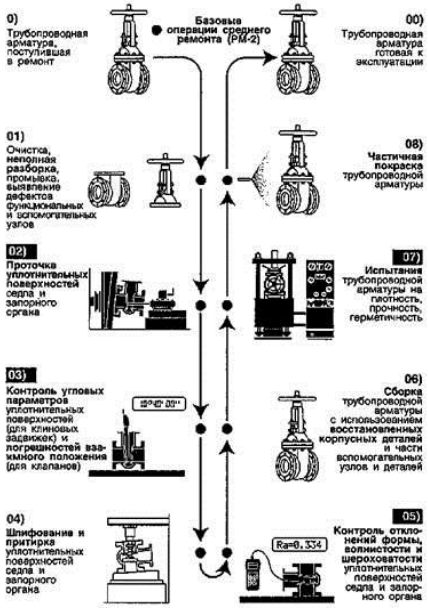


Рис. 2. Технологический маршрут среднего ремонта арматуры

Капитальный ремонт арматуры производится для восстановления ресурса, характеризуемого главными показателями качества. Стоимость капитального ремонта относительно стоимости вновь изготовленной арматуры должна колебаться в диапазоне от 30 до 50%.

В ходе капитального ремонта восстанавливаются изношенные поверхности, заменяются детали и узлы с использованием специфичных технологических операций или их совокупностей. Капитальный ремонт производится только стационарно на демонтированной арматуре.

Капитальный ремонт включает следующие операции:

1) полная разборка:

2) полная очистка;

3) визуальная и инструментальная дефектовка всех деталей;

4) замена сальников, прокладок, всех крепежных деталей;

5) восстановление изношенных деталей, не относящихся к корпусным методами напыления, газовой наплавки и т.д. с последующей механической обработкой;

6) восстановление прочностных характеристик с использованием сварки и наплавки;

7) восстановление уплотнительных поверхностей с использованием наплавки с последующей механической обработкой, шлифовкой, притиркой;

8) контроль всех метрических параметров уплотнительных поверхностей перед сборкой;

9) полная сборка арматуры и проведение всего объема испытаний в соответствии с нормативно-технической документацией.

На рисунке 3 приведен технологический маршрут капитального ремонта из условия восстановления основных деталей арматуры.

В сравнении с другими видами ремонта капитальный ремонт технологически более объемный, но всё же уступает процессу первоначального изготовления арматуры.

Основным отличием капитального ремонта от других видов является:

1) обязательное использование метода наплавки при восстановлении уплотнительных поверхностей затвора (операция 03);

2) инструментальный контроль всех метрических параметров и свойств материала уплотнений (операция 03,05,07);

3) проведение полного объема всех предписанных нормативно-технической документацией испытаний (операция 09).

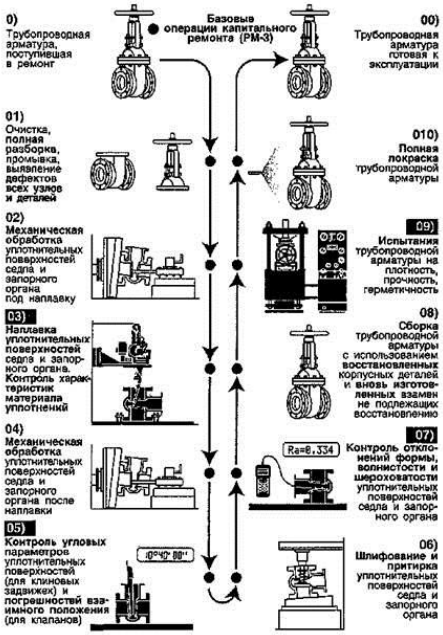


Рис. 3. Технологический маршрут капитального ремонта

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. Стандарт ЦКБА 099-2011. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ckba.ru/docs/ST_CKBA_099_remont%20TPA_%201_red.pdf

2. Организация ремонта и общее руководство по ремонту арматуры. [Электронный ресурс]. – URL: http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293797/4293797250.htm#i184428

3. Технологические процессы ремонта арматуры. [Электронный ресурс]. – URL: https://studfiles.net/preview/1193378/page:9

Р.Н. Гайнутдинов[a], Д.В. Таюрский
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ,
г. Братск,
[a]*gainutdinov.arslan@gmail.com*

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ

Каждый человек, рождённый на этой Земле должен любить и чтить её. Ведь чудо рождения доступно только здесь.

Человечество стремится к прогрессу, но вместе с тем оно приносит колоссальный вред окружающей среде. Основными вредными выбросами, оказывающие тепловое загрязнение являются крупные промышленные предприятия. Они вносят существенный вклад в загрязнение нашей планеты.

Какие же мероприятия по защите атмосферы можно провести уже сейчас на теплоэнергетических станциях? В первую очередь это изменение технологических процессов:

- изменение коэффициента избытка воздуха;
- применение рециркуляции дымовых газов;
- изменение типа горелок (основывается на разработках США в совершенствовании технологий сжигания топлива);
- установка туманообразователей и оросителей;
- применение катализаторов и химических связывателей;
- установка электрофильтров;
- расширение направленности производств на основании переработки собственных отходов предприятий;
- применение технологий раздельной очистки дымовых газов.

Второй аспект защиты окружающей среды – законодательный. Здесь можно выделить следующие направления:

- ужесточение норм выбросов вредных веществ;
- ужесточение штрафов и наказаний за превышение норм;
- поощрения и стимулирование модернизации существующих объектов;
- усиление контроля за промышленными объектами.

Третий аспект защиты атмосферы включает в себя устройство санитарно-защитных зон:

- высадка лесных защитных полос;
- правильное взаимное расположение источника загрязнения и населённых пунктов.

Для снижения выбросов в атмосферу применяют, как правило, сухую и мокрую очистку дымовых газов.

Более подробно остановимся на принципах работы оборудования для сухой очистки уходящих газов:

Циклон – использует силы гравитации и центробежные силы (рис. 1). Газовый поток вводится в циклон через патрубок 2 по касательной к внутренней поверхности корпуса 1 и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру 4. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенке циклона пылевой слой, который вместе с частью газа попадает в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит за счет поворота газового потока в бункере на 180°. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит из бункера, давая начало вихрю газа, покидающему циклон через выходную трубу 3. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера. Если бункер негерметичен, то за счет подсоса наружного воздуха происходит вынос пыли с потоком через выходную трубу. Циклоны серии ЦН имеют производительность от 100 до 68 000 м3/ч, гидравлическое сопротивление около 750 Па и обеспечивают эффективность очистки от 0,83 до 0,975 для пыли с размером частиц более 10 мкм. Эффективнее циклоны работают на пылях с размером частиц более 20 мкм.

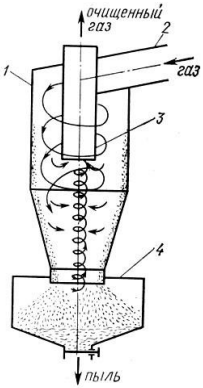


Рис. 1. Циклон.
1 – корпус, 2 – патрубок для газа, 3 – выходная труба для очищенного газа, 4 – бункер.

Более перспективными пылеотделителями для очистки воздуха от частиц размером >5-8 мкм является центробежный ротационный пылеотделитель (ЦРП) – использует центробежные силы и силы аэродинамического сопротивления (рис. 2). Он состоит из встроенного в кожух 1 полого ротора 2 с перфорированной поверхностью и колеса

вентилятора 3. Ротор и колесо вентилятора насажены на общий вал. При его работе запыленный воздух поступает внутрь кожуха, где закручивается вокруг ротора. В результате вращения пылевого потока возникают центробежные силы, под действием которых взвешенные в воздухе частицы пыли стремятся выделяться из него в радиальном направлении. Одновременно на эти частицы в противоположном направлении действуют силы аэродинамического сопротивления. Частицы, центробежная сила которых больше силы аэродинамического сопротивления, отбрасываются к стенкам кожуха и поступают в бункер 4. Очищенный воздух через перфорацию ротора всасывается в вентилятор и затем выводится наружу.

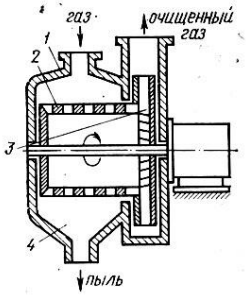


Рис. 2. Центробежный ротационный пылеотделитель
1 – кожух, 2 – полый ротор с перфорированной поверхностью, 3 – колесо вентилятора, 4 – бункер

Эффективность очистки ЦРП зависит от выбранного соотношения центробежной и аэродинамической сил и теоретически может достигать 100%. Величина центробежной силы является функцией числа оборотов и диаметра ротора. Величина аэродинамической силы - функцией скорости просасывания воздуха через перфорацию ротора, т. е. производительности вентилятора.

Сравнение ЦРП с циклонами свидетельствует о преимуществах ротационных пылеуловителей. Так, габаритные размеры циклона в 3-4 раза, а удельные энергозатраты на очистку 1000 $м^3$ газа на 20-40% больше, чем у ЦРП при прочих равных условиях. Однако широкого распространения пылеуловители ротационного действия не получили из-за относительной сложности конструкции и процесса эксплуатации по сравнению с другими аппаратами сухой очистки газов от механических загрязнений.

За рубежом (США, ФРГ) разработано несколько типов вихревых пылеуловителей (ВПУ) с диаметром корпуса от 40 мм до 2 м.

Пропускная способность установок от 20 до 315000 м3/ч. (рис. 3) – вихревые пылеуловители также относятся к аппаратам центробежного действия и работают за счёт спирального обтекания потока газа. Отличительная особенность ВПУ - высокая эффективность очистки газа от тончайших фракций (<3-5 мкм), что позволяет им в отдельных случаях конкурировать с фильтрами.

Существует две конструктивные разновидности вихревых пылеуловителей: ВПУ соплового типа (рис. 3, а) и ВПУ лопаточного типа (рис. 3, б). Процесс обеспыливания в таком пылеуловителе происходит следующим образом: запыленный газ поступает в камеру 5 через изогнутый патрубок 4. Для предварительного закручивания запыленного газа в камеру 5 встроен лопаточный завихритель типа «розетки» 2. В ходе своего движения вверх к выхлопному патрубку 6 газовый поток подвергается действию вытекающих из завихрителя 1 (наклонные сопла в ВПУ соплового типа, наклонные лопатки в ВПУ лопаточного типа) струй вторичного воздуха, которые придают потоку вращательное движение. Под действием центробежных сил, возникающих при закручивании потока, частицы пыли устремляются к его периферии, откуда спиральными струями вторичного потока перемещаются к низу аппарата в кольцевое межтрубное пространство. Безвозвратный спуск пыли в бункер обеспечивается подпорной шайбой 3. Вторичный воздух в ходе спирального обтекания потока очищаемого газа постепенно проникает в него.

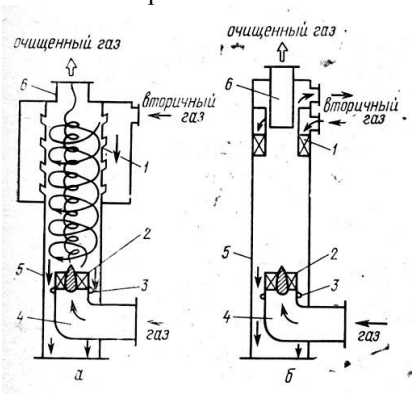


Рис. 3. Вихревой пылеуловитель.
а – соплового типа, б – лопаточного типа
1 – завихритель, 2 – завихритель типа «розетка», 3 – подпорная шайба, 4 – изогнутый патрубок, 5 – камера, 6 – выхлопной патрубок

Подача вторичного воздуха кольцевым направляющим аппаратом с наклонными лопатками усложняет конструкцию, но обеспечивает более интенсивное закручивание потока газа и как следствие более высокую экономичность процесса очистки. Так, гидравлическое сопротивление ВПУ лопаточного типа у существующих аппаратов на 25% меньше, а остаточная концентрация пыли в 1,75 раза ниже, чем у ВПУ соплового типа.

Оптимальное количество вторичного воздуха находится в пределах 40-65% от количества очищаемого газа. ВПУ практически сохраняет эффективность очистки газа от пыли при уменьшении его расхода на 50% и увеличении - на 15%. Слабая чувствительность эффективности очистки к расходу запыленного газа объясняется тем, что процесс очистки в ВПУ зависит в основном от параметров вторичного воздуха. Если параметры вторичного воздуха остаются неизменными, то не изменяется окружающая скорость потока запыленного газа, что сохраняет постоянной действующую на частицы пыли центробежную силу, определяющую эффективность очистки. Повышение давления вторичного воздуха в ВПУ приводит к увеличению эффективности очистки пыли. Гидравлическое сопротивление и удельный расход энергии ВПУ при этом соответственно возрастают. Оптимальное рабочее давление вторичного воздуха для существующих установок находится в пределах 2000-6000 Па.

В качестве вторичного потока может быть использован воздух окружающей среды (рис. 4, а), очищенный газ (рис. 4, б) или запыленный газ (рис. 4, в).

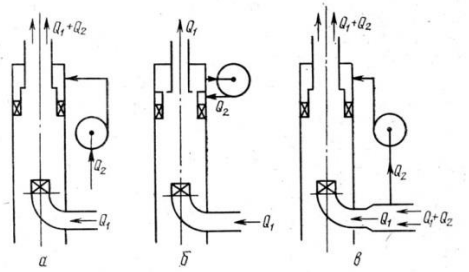


Рис. 4. Схемы подвода в ВПУ вторичного потока.
а – воздух окружающей среды, б – очищенный газ, в – запылённый газ

С экономической точки зрения более выгодно использование загрязненного газа. В этом случае производительность установки повышается на 40-65% без заметного снижения эффективности

очистки. Экономически наихудшим вариантом считается использование воздуха окружающей среды. В то же время этот вариант себя оправдывает при очистке горячих газов, нуждающихся в предварительном охлаждении. Максимальная эффективность очистки достигается при использовании в качестве вторичного воздуха переработанной части потока очищенного газа (рис. 4, б). В этом случае часть наименее очищенного воздуха (у периферии потока) снова возвращается в ВПУ на доочистку.

Наиболее эффективными пылеосадителями являются электрофильтры. Электрофильтры – устройство, в котором очистка газов от аэрозольных, твёрдых или жидких частиц происходит под действием электрических сил (рис. 5). Здесь используется принцип поляризации диэлектрика. Зарядка частиц происходит в поле коронного разряда. Коронирующие электроды подключены к высоковольтному источнику питания с выпрямленным током напряжением 50 – 60 кВ.

Электрофильтры очищают газы от пыли с частицами размером 0,01—100 мкм при $t_г$ < 400—450°С. Сопротивление их достигает 150 Па. Затраты электроэнергии составляют 0,36—1,8 МДж на 1000 $м^3$ газа. Эффективность работы электрофильтра зависит от свойств частиц и газа, скорости и равномерности распределения очищаемого потока в сечении фильтров и т.д. Чем выше напряженность поля и меньше скорость газа, тем лучше улавливаются частицы.

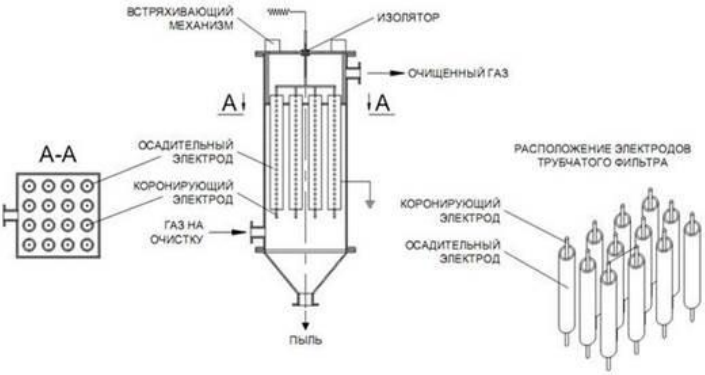


Рис. 5. Трубчатый электрофильтр

Научный руководитель: к.т.н., доцент П.А. Федяев

Литература:

1. Охрана окружающей среды: Учеб. для техн. спец. вузов / С. В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др. Под ред. С.В. Белова. 2-еизд., и доп. — М.: Высш. шк., 1991. — 319 с.
2. Николаев М.Ю., Есимов А.М., Леонов В.В. Электрофильтры: принцип работы и основные достоинства // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XLI междунар. науч.-практ. конф. № 12(37). – Новосибирск: СибАК, 2014.

А.А. Галиев
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань
azat.galiev.1995@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ

В настоящее время главной проблемой в отрасли нефтедобывающих компаний является процессы очистки или разделения нефти от воды, которые требуют больших энергетических затрат.

Предлагаемый к созданию и разработке гравитационно-динамический сепаратор (ГДС) представляет собой высокоэффективное оборудование для разделения технологических эмульсий как для использования в производственных циклах, так и в сфере охраны окружающей среды[1].

Исследование данного сепаратора реализуется согласно патенту, авторами которого являются Портнов И.Ю., Мильчаков А.В., Жарковский А.П., и Петрушенков П.А [2].

Целью данной работы являлось проведение исследования и расчетов ГДС для определения более оптимального варианта установки перегородок, который обеспечивает высокую эффективность очистки и разделения жидкостей.

После проведенных численных моделирований был определен оптимальный вариант для установки перегородок и создана новая схема сепаратора для эффективного разделения эмульсий типа вода-нефтепродукты.

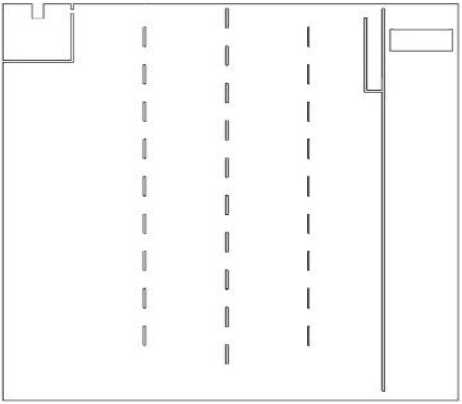


Рис. 1. Модернизированная схема ГДС

На рисунке 1 показана модернизированная схема сепаратора, которая имеет изменения в структуре распределения перегородок.

В докладе рассматривается изменение сепаратора, относительно образца, указанного в патенте, где было проведено математическое моделирование и исследование по разработке структуры сепаратора для наиболее эффективного разделения эмульсий типа вода-нефтепродукты.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент О.В. Соловьева

Литература:

1. Патент РФ №2013106536/05, 14.02.2013 Портнов И.Ю., Мильчаков А.В., Жарковский А.П., Петрушенков П.А. «Способ разделения неустойчивых эмульсий и устройство для его осуществления (варианты)» // Патент России №2013106536 20.08.2014 Бюл. № 23.

С.С. Гусаков
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

ИНФРАКРАСНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ КОТЛОАГРЕГАТА

Для надежной и безопасной работы ТЭС необходимо обеспечить исправное состояние тепловой изоляции котлоагрегата и вспомогательного оборудования.

Основными проблемными элементами парогенератора ТЭС при обследовании тепловой изоляции (ТИ) являются: обмуровка котла; конвективная шахта; тепловая изоляция газовоздушного тракта; тепловая изоляция пароводяного тракта.

При теплотехнических испытаниях теплоизоляционных конструкций на электростанциях определяются: температура поверхности изоляции, величина тепловых потоков от нее, толщина слоя изоляции, температура окружающего воздуха, геометрические размеры конструкций.

Теплоизоляционные материалы и изделия применяются в котлостроении для изоляции горячих поверхностей оборудования и для выполнения обмуровок, имеющих температуру до 900°С. Теплоизоляционные материалы и изделия должны иметь низкую теплопроводность, низкую удельную теплоемкость, небольшую объемную массу, обладать достаточной механической прочностью и необходимой теплостойкостью, допускать обработку и не вызывать коррозии металлов. Материалы, применяемые для тепловой изоляции, должны иметь пористое строение, так как воздух в состоянии покоя имеет наиболее низкую теплопроводность.

Одной из причин нарушения тепловой изоляции являются нарушения при проведении пусконаладочных работ, следствием чего является прогар стенок котла (длина факела превышает длину топки) и неполное сжигание топлива. В этом случае прогар происходит в районе первого поворота дымовых газов. Причиной выхода из строя теплоизоляции служит то, что прогоревшая часть является первым по ходу газов местом, где поток дымовых газов меняет направление и, соответственно, при наличии в потоке несгоревших в топке частиц топлива происходит их осаждение с последующим догоранием, что приводит разрушению теплоизоляции.

Причины аварийного состояния ТИ определяются физическим состоянием отдельных участков котла (растрескивание, слоистость, нарушение покровного слоя и т.д.); нарушением методики монтажа

изоляции (недостаточная толщина ТИ, излишним уплотнением ТИ из мягких изделий и т.д.); подбором некачественных материалов; неверным расчетом в проекте ТИ.

Основным измеряемым параметром при обследовании на тепловые потери оборудования ТЭС является регистрируемая температура поверхности тепловой изоляции котлоагрегата. В СибИАЦ СГК термографические обследования выполняются с применением тепловизора Testo 875-2i. При помощи программного обеспечения IRSoft, которое входит в комплектацию тепловизора производится анализ тепловизионных снимков, включающий в себя определение средней температуры на исследуемом участке тепловой изоляции. Тепловой поток определяется расчетом исходя из температуры поверхности тепловой изоляции и температуры окружающего воздуха вблизи поверхности теплоизоляции.

По данным результатов практических обследований разрабатываются рекомендации по снижению тепловых потерь до нормативных и доведения состояния части ТИ до соответствия требований ПТЭ и СНиП, устранению дефектных участков ТИ, выявленных в ходе обследования, во время проведения плановых ремонтов. При производстве ремонтов/реконструкций ТИ необходимо обеспечивать контроль за соблюдением технологии работ, применением проектных материалов и качеством исполнения ТИ; производить периодические обследования тепловой изоляции путем визуального осмотра с составлением протокола осмотра.

Научный руководитель к.т.н.: И.Л. Абрамов

Литература:

1. Гусаков С.С., Абрамов И.Л. Инфракрасная диагностика обмуровки котельных агрегатов и тепловой изоляции оборудования тепловых электростанций // Мат. III Всер. науч.-практ. конф. «Энергетика и энергосбережение: теория и практика»/ 13-15 декабря 2017 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2017. (РИНЦ)

2. СНиП 2.04.14-88*. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. ВНИПИ Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР. 1990 г.

3. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544с.

4. СП 41-103-2003. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. ГУП НИИмосстрой, 2000 г.

А.Л. Ермоленко, И.О. Киселев
Братский государственный университет, г.Братск
ku4erovanastya@yandex.ru

ПОДГОТОВКА ГАЗООБРАЗНОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОТЕЛЬНЫХ ЦЕХАХ

Сжатый воздух, который подводится к оборудованию от компрессорной установки, должен быть очищен от влаги и масла. При работе с воздухом, не очищенным от влаги и масла, нельзя обеспечить надежную эксплуатацию устройств. Источником содержащейся в сжатом воздухе влаги служит водяной пар, всасываемый компрессором вместе с воздухом. Содержание влаги в воздухе зависит от температуры и относительной влажности паровоздушной смеси. При движении по трубопроводам и другим элементам системы сжатый воздух вследствие теплообмена с окружающей средой охлаждается, происходит перенасыщение воздуха водяными парами и их конденсация. Основным источником загрязнения сжатого воздуха маслом может быть смазка компрессоров. В сжатом воздухе масло обычно находится в парообразном и жидком состоянии. Предельная концентрация паров масла в воздухе так же, как и паров воды, уменьшается с понижением температуры и повышением давления.

Фильтр влагомаслоотделитель Арктис-ЦР.

Назначение фильтра влагомаслоотделителя Арктис-ЦР.

Фильтры-влагомаслоотделители серии "Арктис-ЦР" предназначены для удаления из сжатого компрессорного воздуха, инертных газов и газовых смесей капель и аэрозоли влаги и масла, а также механических частиц.

Принцип работы фильтра влагомаслоотделителя Арктис-ЦР.

Фильтр серии " Арктис-ЦР» состоит из направляющей пластины входного канала и фильтрующего элемента, размещенных в цилиндрическом корпусе. Загрязненный поток воздуха или газа через входной патрубок входит в корпус фильтра и направляется, специальным образом расположенной, пластиной по касательной к внутренней стенке фильтра. Сжатый воздух движется внутри корпуса фильтра по спирали сверху вниз, что обеспечивает концентрацию (под действием центробежной силы) газовом потоке капель влаги и масла, механических примесей у внутренней стенки корпуса, с последующим прилипанием к стенке, и, под действием силы тяжести отделенные загрязнения стекают на дно корпуса фильтра и через штуцер отвода конденсата удаляются из пневмосистемы. Частично очищенный сжатый воздух попадает на фильтрующий элемент. Фильтрующий

элемент изготовлен из пеноникеля с открытоячеистой структурой и припеченным мелкодисперсным слоем бронзы, имеющим низкое гидравлическое сопротивление и способного эффективно отделять аэрозоли и механические примеси из газового потока, обеспечивая очистку сжатого .Фильтрующий элемент подлежит периодической регенерации (определяется по величине перепада давления на фильтре – не более 0,5атм). Регенерация состоит в 10-15-минутном полоскании в органическом растворителе.

Преимущества фильтра-влагомаслоотделителя Арктис-ЦР:

1. совмещает в себе функции центробежного сепаратора и влагомаслоотделителя;
2. легкость и простота монтажа и обслуживания;
3. не потребляют электроэнергию;
4. не требуется регистрация в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору;
5. долговечный регенерируемый фильтрующий элемент;
6. малые потери давления на фильтруюшем элементе;
7. высокая эффективность отделения из сжатого воздуха капель и аэрозолей влаги и масла, механических примесей;
8. широкий спектр производительностей - от 0,4 до 100 м3/мин;
9. выпускаются на максимальные рабочие давления до 10, 16, 25, 40 и 100 атм.

Принцип работы фильтра влагомаслоотделителя СМЦ.

Сжатый воздух поступает из сети в среднюю часть корпуса через входной патрубок. Под действием давления воздуха мембрана прогибается вниз, сжимая пружину, и увлекает за собой шток с поршнем, открывая тангенциальные окна завихрителя. Сжатый воздух, пройдя через тангенциальные окна завихрителя, начинает вращаться и, попав в вихревую трубу, совершает многоходовое движение. За счет центробежной силы капли влаги и масла отбрасываются на стенку вихревой трубы и через тангенциальные окна, направленные по ходу вращения воздушного потока, выбрасываются в полость между верхней частью корпуса и вихревой трубой. Затем влага и масло выбрасываются наружу, а очищенный воздух через выходной патрубок поступает к потребителю.

Давление в верхней части корпуса и под мембраной, которые соединяет обводная труба, одинаковое. Перепад давления между средней частью корпуса и вихревой трубой, воздействуя на мембрану, перемещает поршень, определяя расход сжатого воздуха. С увеличением расхода воздуха давление в вихревой трубе падает, а угловая скорость воздуха на выходе из тангенциальных окон

возрастает. Перепад давления увеличивается, и поршень перемещается вниз, увеличивая проходное сечение тангенциальных окон завихрителя. При этом угловая скорость на выходе устанавливается такой, какой была до увеличения расхода воздуха. При уменьшении расхода сжатого воздуха давление и вихревой трубе увеличивается, угловая скорость воздуха на выходе из тангенциальных окон уменьшается, а перепад давления между вихревой трубой и средней частью корпуса также уменьшается. В результате поршень поднимается вверх, перекрывав часть проходного сечения тангенциальных окон завихрителя. Тем самым он увеличивает угловую скорость сжатого воздуха, выходящего из окон завихрителя, до той, которая была до уменьшения расхода воздуха. Таким образом, с увеличением или уменьшением расхода воздуха соответственно увеличивается или уменьшается проходное сечение тангенциальных окон завихрителя.

Фильтры влагомаслоотделители Туман.

Фильтры влагомаслоотделители Туман – это устройства предназначенные для качественной очистки сжатого воздуха от аэрозолей влаги и минерального масла, а также микрочастиц. Устанавливаются в пневматических системах непосредственно на трубопроводе с помощью присоединительных резьбовых отверстий. Монтируются перед пневмооборудованием (пневмопрессами, пневмоприводами, пневмопатронами и т.п.). Производительность влагоотделителей "Туман" составляет от 0,8 до 4,2 м3/мин, в зависимости от модификации. Тонкость фильтрации - 20 мкм.

Принцип работы фильтра влагомаслоотделителя Туман.

Конструктивно влагомаслоотделители Туман представляют собой колбу с крышкой из цинкового сплава и прозрачным пластиковым корпусом. Чтобы удалить скопившийся конденсат, достаточно открыть кран. Прозрачный материал корпуса позволяет контролировать количество конденсата и своевременно его отводить, не допуская повышения выше уровня отражателя. Промыть или заменить фильтрующий элемент из пористой бронзы можно всего за несколько минут, благодаря оригинальной конструкции затвора. При необходимости резервуар устройства также промывают теплой водой.

Модульные осушители сжатого воздуха с холодной осушкой влагопоглотителя Серия D-IM.

Преимущества модульных осушителей сжатого воздуха Серии D-IM:

1. Сводят к минимуму: загрязнения, коррозию и потребление энергии;

2. Сокращают: расходы – за счет обработки только требуемого объема воздуха;

3. Обеспечивают: отличную работу при низком уровне шума;

4. Поддерживают: высокую эффективность и легкость в обслуживании;

5. Высокоэффективная фильтрация и адсорбция в слое адсорбента обеспечивают сухой и чистый воздух на выходе;

6. Компактные, полностью интегрированные блоки устанавливаются непосредственно в месте использования;

7. Низкий перепад давления сокращает затраты на электроэнергию;

8. Оптимизированная система энергопотребления крупных установок уменьшает объем продувочного воздуха при неполной нагрузке.

Осушение и регенерация в осушителе серии D-IM :

Осушение:

1. от воздушного компрессора, сжатый воздух поступает в осушитель через предварительный фильтр, который удаляет масляные и прочие загрязнения на входе в осушитель;

2. воздух направляется в башню, которая находится в режиме осушения;

3. осушитель удаляет влагу из воздуха путем адсорбции (поглощением);

4. осушенный сжатый воздух из башни проходит через фильтр на выходе из осушителя, дополнительно удаляя пылевые загрязнения из сжатого воздуха, поступающего в систему.

небольшое количество сжатого воздуха (менее 15%) перенаправляется на регенерацию второй башни.

Регенерация:

1. часть осушенного сжатого воздуха течет в обратном направлении через башню, находящуюся на регенерации и удаляет влагу, впитанную адсорбентом.

2. влажный воздух выходит из осушителя через выхлопной порт, который оснащен глушителем для снижения шума.

Для очищения сжатого воздуха после компрессорной установки наиболее лучшим вариантом будет установка фильтра-влагомаслоотделителя Арктис-ЦР и модульного осушителя Серии D-IM так как они просты в использовании, полностью удаляют загрязнения.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. ПИ 203.225.032-2016 Режим работы фильтра – влагомаслоотделителя «Арктис-ЦР» и его безопасное обслуживание.
2. С.В. Горячев И.В. Сологуб. Система воздухоснабжения промышленных предприятий.-Оренбург. 2014.-292с.

Л.А. Ефименко, А.В. Скорый
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ, Братск,
feia@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК В ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

В промышленных и отопительных котельных, где производится выработка пара высоких параметров, а затем снижение его параметров путем дросселирования в редукционных установках (РУ), существуют значительные резервы повышения энергоэффективности теплоисточников.

Действенным энергосберегающим мероприятием для котельных может быть замена РУ редуцирующими турбогенераторами (ТГ), что повышает эффективность использования топлива в котельной, позволяет создавать автономный источник электроэнергии, благодаря чему повышается надежность котельной, которая становится менее зависимой от аварий во внешней системе электроснабжения. Кроме того, обеспечивается выработка электроэнергии в месте ее потребления, вследствие чего исключаются расходы на транспортировку и приобретение электроэнергии.

Одним из таких энергосберегающих проектов является реконструкция действующей котельной 45-го квартала города Братска Иркутской области.

Изначально котельная обеспечивала паром высоких параметров (1,4 МПа, 225°С) технологические процессы завода «Сибтепломаш». Для этого в котельной были установлены три паровых котла КЕ-50-14-225, работающие на угольном топливе. Также в котельной установлены два водогрейных котла КВР-35-150 и водогрейный котел КВТС-30. После закрытия части цехов пар высоких параметров стали направлять через РУ в общий коллектор с давлением 0,3-0,5 МПа для использования в деаэраторах и пароводяных подогревателях.

В настоящее время котельная обеспечивает отопление и ГВС жилого района города. В летнее время в работе находятся только паровые котлы, и ГВС осуществляется от пароводяных подогревателей. Расход пара в отопительный период составляет до 40 т/ч, в летнее время - до 30 т/ч. Для выравнивания тепловой нагрузки установлены четыре бака-аккумулятора вместимостью по 700 $м^3$.

В результате реконструкции котельной в 2012 г. была установлена турбина с противодавлением, что позволило осуществлять редуцирование пара и получать электроэнергию (мощность - 500 кВт) в круглогодичном режиме без существенных затрат топлива.

Подключение генератора было осуществлено к шинам 0,4 кВ ТП-61 10/0,4 кВ собственных нужд, т.к. ранее к ячейке 0,4 кВ подключалась нагрузка котлоагрегата № 4, к тому времени демонтированного. Технические условия электросетевой компании предусматривали отключение соответствующих вводов 10 кВ на центральном распределительном пункте котельной при исчезновении напряжения на питающих фидерах и изменении направления мощности. С учетом изложенного была принята система параллельной работы генератора с энергосистемой без выдачи мощности в сеть. Проектом предусмотрены и смонтированы, проверены и испытаны в необходимом объеме оборудование, устройства защиты и автоматики, контрольно-измерительные приборы и сигнализация (рис. 4), провода и кабели, средства защиты, в том числе счетчики передаваемой активной и реактивной энергии. К трансформаторам напряжения, трансформаторам тока вводных ячеек 10 кВ подключены реле направления мощности. К трансформаторам тока ячейки генератора подключили защиту: токовую отсечку, максимальную токовую защиту, защиту от перегрузки.

Для выхода турбогенератора на номинальную мощность было снижено давление в коллекторе до 0,25 МПа. При дальнейшем снижении ухудшались показатели качества питательной и подпиточной воды по содержанию кислорода вследствие ухудшения работы деаэраторов. Тем не менее, при расходе пара 16 т/ч и противодавлении 0,25-0,3 МПа ТГ выдавал проектные 450-500 кВт электрической мощности. Расход пара через редуцирующие устройства соответственно снижался.

При внедрении турбогенераторных установок необходим анализ изменения параметров пара за турбиной. Сильное снижение температуры может привести к ухудшению условий теплоснабжения потребителей и к существенным дополнительным затратам топлива.

Для оценки целесообразности установки турбогенераторных установок, в случае удовлетворительных параметров пара за турбиной, необходимо

оценить чистый дисконтированный доход, получаемый от снижения затрат на электроэнергию, вырабатываемую турбогенератором. При этом необходимо учесть дополнительные затраты топлива, затраты на заработную плату машинистов турбины, ежегодные издержки на обслуживание и ремонт турбины, ее амортизацию. Следует отметить, что большое значение на экономический эффект будет иметь ожидаемая динамика цен на топливо и электроэнергию.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А.Шакиров

Л.А. Ефименко
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ,
г. Братск,
feia@mail.ru

ПРОГРАММА SUN-MCA ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Солнечная энергия в системах теплоснабжения сельских населенных мест наиболее эффективно используется путем преобразования солнечного излучения в теплоту невысокого температурного потенциала, достаточного для отопления и горячего водоснабжения в жилых зданиях. В настоящее время очень перспективно направление преобразования солнечной энергии в тепловую для отопления и горячего водоснабжения с помощью солнечных коллекторов. Экономически обоснованной областью применения таких систем являются регионы, расположенные ниже 50° северной широты. Решающее влияние на технико-экономические показатели системы теплоснабжения оказывают как теплотехнические характеристики собственно солнечных коллекторов и климатические условия местности, в которой они используются, так и гибкость регулирования работы и надежность системы.

Для оценки целесообразности использования энергии солнца для целей теплоснабжения необходимо оценить гелиоэнергетический потенциал в районе предполагаемого использования. Целесообразно использовать при этом программное обеспечение. Рассмотрим программу Sun-MCA, разработанную на факультете энергетики и автоматики.

В качестве исходных данных для программы требуется широта и долгота местности, данные о среднемесячных прозрачности атмосферы и альбедо подстилающей поверхности. В результате могут быть рассчитаны составляющие солнечной радиации: прямая, отраженная и рассеянная на произвольно ориентированную поверхность.

На рис. 1 представлен рабочий экран программы. На экране представлено поступление прямой солнечной радиации в течение месяца.

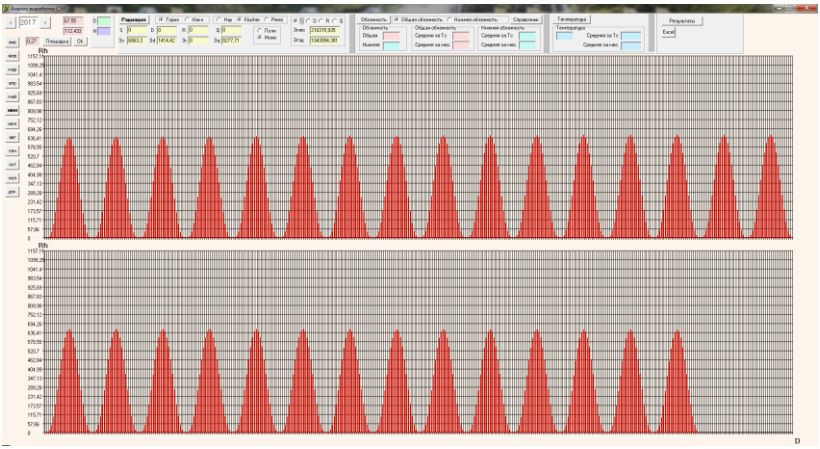


Рис. 1. Рабочий экран программы Sun-MCA

Особенностью программы является возможность учета влияния облачности. Учет влияния облачности на поступающую суммарную радиацию на наклонную поверхность с использованием данных метеостанций. Можно выделить два подхода учета влияния облачности на радиацию, поступающую на наклонную поверхность. Первый подход основан на учете общей облачности, второй – на учете визуальных оценок облачности [1].

Влияние общей облачности на суммарную радиацию можно оценить по формуле Т.Г. Берлянд [1]:

$$Q_{\text{накл.обл}} = (S_{\text{накл}} + D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}})(1-(a+bn)n)\,, \qquad (1)$$

где a – коэффициент, зависящий от среды и от широты местности; b – коэффициент, который можно считать постоянным и равным 0,38; n – общая облачность в долях единицы.

Формула (1) дает удовлетворительно точные результаты при вычислении по ней многолетних средних для данного месяца суточных сумм радиации. Среднее отклонение вычисленных сумм от измеренных составляет 8-10 % без учета знака отклонения и около 3% с учетом знака [1]. Таким образом, метод расчета по общей облачности можно считать вполне применимым для определения средних месячных характеристик радиационного климата [1].

Оценки суммарной радиации, выполненные с учетом только общей облачности, как правило, оказываются заниженными, так как наличие на солнечном диске облаков, вообще говоря, не означает прекращения притока прямой радиации [1]. Повысить точность оценки позволяет

учет нижней облачности, регистрация которой проводится на метеостанциях СССР и России с 1929 года.

В соответствии с методикой Кузьмина П.П. [1]:

$$Q_{\text{накл.обл}} = Q_{накл}\left(1 - A \cdot l - B \cdot (n - l)\right), \qquad (2)$$

где *A*, *B* – эмпирические коэффициенты, характеризующие ослабление суммарной радиации облачностью нижнего и нижнего со средним ярусов; *l* – нижняя облачность, выраженная в долях единицы.

Согласно исследованиям [2] для умеренных широт России *A*=0,65, *B*=0,33; для арктических широт: *A*=0,62, *B*=0,24. Использование формулы (2) для умеренных широт позволяет получить оценки с погрешностью до 10% для умеренных широт, и до 15% для арктических широт. В целом, учет нижней облачности улучшает оценки суммарной радиации [2].

Для оценки общей и нижней облачности предлагается использовать данные, предоставляемые интернет-ресурсами. Например, на rp5.ru представлены сведения об измерениях, проводимых в среднем 8 раз в сутки за период с 2005 года. Имеется возможность экспорта данных в excel-файл. Промежуточные между измерениями оценки общей и нижней облачности в исследовании вычислялись линейной интерполяцией.

На рис. 2. Представлен рабочий экран программы, где показано изменение общей облачности в течение месяца. Программа позволяет на основе выражений (1), (2) проводить учет общей и нижней облачности при оценке гелиоэнергетического потенциала.

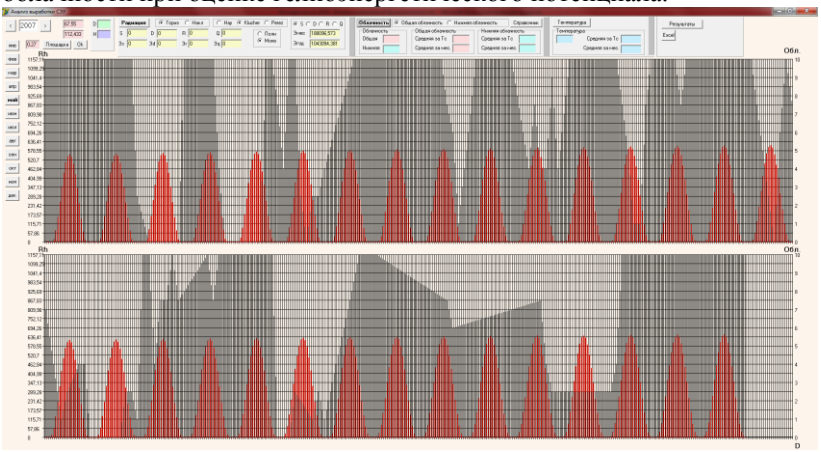


Рис. 2. Рабочий экран программы Sun-MCA

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Шакиров

Литература:

1. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 234с.
2. Гальперин Б.М., Ченцова Т.А. О расчетах месячных сумм солнечной радиации по общей и нижней облачности // Труды ЛГМИ, 1972, вып. 48., С. 119-124.

А.В. Задорожная
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ,
г. Братск,
aljona-kodina96@mail.ru

ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Для того, чтобы произвести оценку работоспособности разных систем на промышленном предприятии необходимо проводить контроль сварных швов, используя различные методы контроля. По принципу воздействия на контролируемый объект все методы разделяются на несколько групп: методы неразрушающего и разрушающего контроля. Наибольшее предпочтение отдаётся методам первой группы, но некоторые из них являются достаточно дорогостоящими и имеют свои особенности при проведении контроля. Поэтому экономически выгоднее начинать любой контроль сварного шва с самого простого метода – визуальный контроль качества (ВИК). ВИК проводят на следующих стадиях:

1) входной контроль;
2) подготовка деталей к сборке;
3) сборка под сварку;
4) процесс сварки;
5) контроль готовых сварных соединений;
6) исправление дефектных участков в материале и сварных соединениях;

Этот способ контроля считается самым доступным и поэтому считается обязательным перед проведением других методов контроля металла сварного шва.

ВИК проводят с целью выявления недопустимых дефектов в изделии:

1) трещины;
2) расслоения;

3) закаты;
4) забоины;
5) риски;
6) усадочные раковины;
7) подрезы;
8) прожоги;
9) наплывы металла;
10) кратеры;
11) свищи;
12) поры;
13) брызги металла;

ВИК проводят невооружённым глазом и (или) с помощью применения дополнительных средств измерения. Суть проведения контроля заключается в том, что качество формирования сварного шва хорошо поддается оцениванию при осмотре. Характеристика «качественный» или «не качественный» условная, так как это сравнительная величина. Результат проведения ВИК металла сварного шва зависит от уровня знаний и профессионализма контролёра.

ВИК проводится в несколько этапов, каждый из которых направлен на выявление дефектов:

1) осмотр шва невооружённым глазом. Так можно обнаружить поры, трещины, подрезы и другие недопустимые дефекты, которые являются дополнительными концентратами напряжений в металле шва и околошовной зоны (зона термического влияния). Легко определяются непроваренные участки и усадочные раковины. Грубая чешуйчатость сварного шва, наплывы металла свидетельствуют о нарушении технологии сварки. Прожоги металла шва так же свидетельствуют о нарушении технологии сварки и о завышенной силе тока на сварочном трансформаторе.

2) изучение шва с дополнительными средствами измерения. Данный этап позволяет детализовать контролируемый участок и уточнить параметры дефекта(ов). Например, если при проведении ВИК были выявлены риски или подрезы, но непонятна их глубина, применение микрометра поможет решить эту проблему и определить степень серьёзности дефекта.

3) измерение параметров сварного шва инструментальными средствами измерения. Меряется длина шва и сопоставляется с необходимым стандартом для данного участка с его нагрузками. Измеряется катет наплавленного металла. При помощи универсального шаблона сварщика (УШС-3) определяется высота шва,

ширина шва измеряется штангельциркулем. Всё это сопоставляется с толщиной стенки основного металла.

После всех этапов составляется акт, карта контроля, куда заносятся все найденные дефекты и рекомендации по привлечению последующих методов контроля металла.

Для проведения ВИК, согласно ГОСТ 23479-79 необходимо применение конкретного оборудования и инструментов для качественного проведения ВИК. Он разделяет приборы на две группы:

1) приборы цехового назначения, которые способны работать при температуре от +5 до +20℃;
2) приборы полевого назначения, которые способны работать при температуре от -55 до +55℃;

В качестве инструментов применяют:

1) измерительные лупы;
2) сварочные шаблоны для проверки параметров геометрии швов;
3) угольники для поверки (90°);
4) нутрометры;
5) угломеры с нониусом;
6) щупы для контроля зазоров;
7) микрометры;
8) толщинометры;
9) калибры;
10) штангельциркули;
11) линейки;
12) рулетки;

Рис. 1. Инструменты ВИК

Иногда возникает необходимость проведения ВИК в местах, куда не предоставляется возможности доставить контролёра или с которыми нет прямого визуального контакта. Такие места могут находиться под землёй в специализированных тоннелях, или в среде с высокой

температурой и радиационным фоном, а так же в условиях, когда конфигурация исследуемого объекта и его конструкция не позволяет в полной мере произвести анализ качества и измерить дефекты сварных швов. Тогда в дополнение к инструментам ВИК для поиска и анализа дефектов скрытых и недоступных объектов, элементов применяются:

1) платформы дистанционного управления;
2) световые приборы;
3) автоматические системы транспортировки;
4) телевизионные установки;

Рис. 2. Телевизионная установка

Преимущества метода ВИК:
- простой и доступный метод;
- не трудозатратный и не требует дорогостоящего оборудования;
- легко подвергается проверке и повторному проведению;

Недостатки ВИК:
- человеческий фактор;
- низкая достоверность полученных результатов, субъективность;
- ограниченность исследований только видимой частью конструкции;

ВИК производится до процедуры зачистки, термической или химической обработки, а так же и после их выполнения.

При оценке качества ВИК используют как:

1) информативный метод описания общего внешнего состояния;
2) теоретический метод оценки внутреннего состояния шва и как повод для рекомендации проведения более точной проверки;
3) оценивающий метод условий эксплуатации шва, конструкции, системы и всего изделия;
4) контролирующий метод выявления грубых нарушений технологического процесса;
5) метод для предварительного заключения при снятии с эксплуатации или фиксировании аварийной ситуации;

6) прогнозирующий метод возможных мест разрушения конструкции при совокупности найденных видимых дефектов;
7) метод оценки и заключение о правильности, безопасности и стабильности проведения технологического процесса изготовления или ремонта конструкции.

ВИК позволяет быстро получать информацию о состоянии шва, конструкции, системы или изделия. Задействование несложного оборудования делает метод доступным во многих условиях. Своевременное проведение данного позволяет продлить срок эксплуатации оборудования и предотвратить аварийные ситуации.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. РТМ-1с (РД 153-34.1-003-01)
2. Визуальный и измерительный контроль [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ntcexpert.ru/vic

А.А. Калитина
Братский государственный университет, г. Братск
kaa.2014@mail.ru

УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЙ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

Энергосбережение – это одна из первоочередных проблем настоящего времени, требующих незамедлительного решения. При этом следует заметить, что даже относительно небольшой успех в решении этой задачи в силу масштабности энергозатрат приводит к ощутимым эффектам в абсолютном выражении.

Данную проблему пытаются решить различными методами, например, часто утверждается, что существенный эффект достигается за счет установки теплосчетчиков. Однако при этом необходимо учитывать следующее обстоятельство. Нужно очень отчетливо понимать, что установка теплосчетчиков это вообще-то неэнергосберегающее мероприятие, это то, что способствует энергосбережению, но само по себе по своей сути таковым не является. Финансовый выигрыш здесь получается из-за того, что нормы потребления завышены, фактическое энергопотребление ниже

расчетного, поэтому оплата за энергосбережение снижается. Настоящее энергосбережение начинается только тогда, когда самым серьезным образом начинают заниматься тепловым режимом отапливаемых зданий, исследованием и выявлением его особенностей, разработкой и внедрением систем автоматизации отопления и теплоснабжения в целом.

Реализация одного из направлений энергетической программы страны (основные элементы энергетической политики России сформулированы в Федеральном законе Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»), направленной на эффективное использование и экономию энергии, в большей мере определяется энергоэкономичностью решений систем отопления.

Существенной экономии теплозатрат в водяных системах теплоснабжения достигают, применяя автоматическое регулирование теплового потока, поступающего в систему отопления. Устойчивость работы повышается при приближении места проведения регулирования к теплопотребителю за счет более полного учета различных факторов, определяющих теплопотребность помещений отапливаемых зданий. При местном регулировании в тепловом пункте здания учитывают особенности режима его эксплуатации, ориентацию по сторонам горизонта, действие ветра и солнечной радиации.

Автоматизация и диспетчеризация работы систем отопления должны основываться на следующих принципах: автоматическое регулирование должно осуществляться для узлов, в которых требуются постоянное в данный момент времени поддержание регулируемой величины (температуры, давления), а также автоматическая защита от аварии (например, при возможности превышения рабочего давления для отопительных приборов); дистанционное управление из диспетчерского пункта – для удаления отопительных установок.

Автоматизация теплового пункта – это замена устаревшего, зачастую еще советского, оборудования на современное, с автоматизированным регулированием давления и расхода. И начинать автоматизацию, или по другому модернизацию системы отопления здания следует именно с теплового пункта. Так как, если поставить на радиаторы современные терморегуляторы, пусть даже самых лучших зарубежных фирм, а в тепловом пункте механический элеватор, то терморегуляторы не будут работать корректно.

И основная причина в том, что «советский» механический элеватор работает при постоянном гидравлическом режиме, а терморегуляторы при переменной гидравлике. В этом случае вероятна гидравлическая разрегулировка, перегрев обратки.

Какие схемы автоматизации индивидуального теплового пункта существуют? На практике приходилось сталкиваться с двумя вариантами – с погодозависимым электронным элеватором с регулируемом соплом, и схема с регулятором потребления теплоэнергии с двухходовым клапаном.

Особенность установки таких элеваторов в том, что окупаются они довольно быстро. Чем больше отопительная нагрузка на здание в Гкал, тем быстрее окупится такой элеватор. Экономию тепла за счет снижений температуры по подаче в ночные часы и выходные дни и нормального регулирования расхода в осенне-весенний период они дают хорошую. В обычном режиме работают четко по температурному графику теплоснабжающей организации, перегрев обратки невозможен в принципе.

Вторая схема автоматизации индивидуального теплового пункта — это схема с насосом на обратке и регулятором потребления теплоэнергии с двухходовым клапаном (рис. 1).

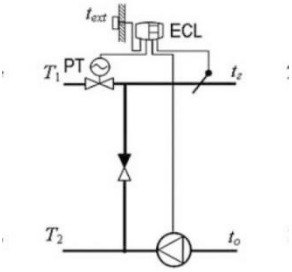


Рис. 1. Схема автоматизации с насосом на обратке и регулятором потребления теплоэнергии с двухходовым клапаном

Циркуляционный насос располагается на обратке, с помощью него осуществляется количественно-качественное регулирование систем отопления, учитывая температуру наружного воздуха. Необходимая температура в системе отопления устанавливается электронным регулятором по температурному графику путем воздействия на двухходовой клапан регулятора потребления теплоэнергии. Про эту схему можно сказать, что она тоже довольно быстро окупается, хотя и является более затратной по сравнению со схемой с электронным элеватором. Преимуществом такой схемы

является ее способность поддерживать постоянство циркуляции в системе отопления за счет взаимовлияния характеристик насоса и внутренней сети отопления.

При такой схеме решается проблема перетопов в осенний и весенний период. Кроме того, можно оптимизировать режим теплопотребления с учетом температуры на улице, то есть поддерживать температуру в помещениях в зависимости от уличной температуры, и также экономить тепло на ночных снижениях температуры отопления и снижения в выходные и праздничные дни. Также контроллер можно запрограммировать на любую температуру внутреннего воздуха помещений.

Большая часть реализуемых схем автоматизации тепловых пунктов с насосным подключением — это схемы, пришедшие с западных, европейских стран. Конечно, наши инженеры и проектировщики ничуть не хуже, а даже лучше западных. Но у европейских специалистов огромное преимущество по времени, если они занимаются этими вопросами уже лет шестьдесят, не меньше, то наши специалисты всего последние лет пятнадцать. Приведено только два примера, с которыми приходилось сталкиваться на практике. На самом деле таких схем модернизации тепловых пунктов множество, они разработаны для всех видов и типов систем отопления.

Конфигурация и состав системы автоматизации теплового пункта изменяется в зависимости от применяемой гидравлической схемы регулирования. Выбор схемы присоединения систем теплопотребления должен осуществляться с учетом условий теплоснабжения, с максимальным использованием энергетического потенциала теплоносителя от источника теплоснабжения, особенно при дефицитном теплоснабжении.

Состав применяемых технических компонентов для системы автоматизации теплового пункта определяется на стадии проектирования.

Существует ряд требований, выполнение которых необходимо для построения систем качественного регулирования, обеспечивающих оптимальное функционирование систем теплопотребления:

- непосредственное управление подачей теплоты по одному датчику внутренней температуры не допускается, так как это снижает надежность регулирования; допускается использовать накопленные данные по внутренней температуре для коррекции температурного графика регулирования;

- в случае дефицитного теплоснабжения от источника ночное снижение температуры теплоносителя в СО не должно производиться – это снижение должно нормироваться по температуре, а не по расходу;

- для исключения неравномерности прогрева отопительных приборов узлы регулирования должны обеспечивать расчетные расходы теплоносителя и необходимые коэффициенты подмеса при температурах выше точки излома температурного графика;

- с целью защиты коммерческого узла учета тепловой энергии и теплоносителя от несанкционированного вмешательства и повышения надежности работы АТП в целом необходимо предусматривать аппаратное разделение средств учета и средств автоматики.

Внедрение интеллектуальных методов автоматического управления для систем теплопотребления является наиболее перспективным энергетически и экономически выгодным способом реализации программы «комфортного тепла», которая обеспечивает гибкий и благоприятный тепловой режим здания.

Для решения данной задачи необходимо разработать новые алгоритмы микропроцессорного управления регулирующими клапанами и частотно регулируемыми электроприводами насосов.

Все вышеизложенное свидетельствует о заметной незавершенности, о том, что необходимо найти ясные и недвусмысленные ответы на еще многие вопросы, связанные с проблемами энергосбережения и автоматизации в системах теплоснабжения зданий. Причем в случае успешного решения поставленных задач размер выигрыша в части энергосбережения будет достаточно весовым, т.к. в настоящее время тепловые пункты зданий, как правило, не автоматизированы, некая автоматика имеется только на центральных тепловых пунктах (ЦТП) и на источниках теплоты (ТЭЦ котельные) ориентирована она на управление группой зданий и поэтому в принципе не может достаточно удовлетворительно решить поставленные задачи.

Только АСУ учитывающая конкретные характеристики конкретных зданий и их систем отопления и непрерывно отслеживающая их изменения, а также содержащая в своем составе оптимально сконструированные локальные контура автоматического регулирования отдельных переменных процесса теплоснабжения способна определить именно то количество теплоты, которое необходимо для поддержания требуемого температурного режима в здании.

Данная статья призвана реабилитировать само понятие автоматического регулирования как такового и выявить некий призыв всех заинтересованных лиц, а это конечно потребители, и теплоснабжающие, и строительные, и проектные, и внедренческие организации к конструктивному диалогу по этой наболевшей проблеме.

Конечной целью я вижу совместное создание нормативных документов, регламентирующих требования к автоматизации и регулированию систем теплопотребления, для построения грамотных технических решений, позволяющих в полной мере соответствовать концепции энергосбережения.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. ФЗ РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009г. №261-ФЗ.
2. СП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов. – М.: ГУП ЦПП, 1997.
3. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – К.: Изд-во ООО «Данфос, 2007. - 252с.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети.: учеб. для вузов/ Е.Я. Соколов. – 7-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472с.
5. Евдокимов А.Я. Системы автоматизации зданий: комфорт плюс экономия./ А.Я. Евдокимов, А.М. Яковлев// Современные технологии автоматизации. – 2007. - №2. с.32-43.

А.А. Калитина

Братский государственный университет, Братск,

kaa.2014@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

На сегодня основные проблемы энергетики связаны с возрастающим ростом народонаселения Земли, дефицитом энергии и ограниченностью топливных ресурсов. Современное энергоснабжение более чем на 80 % базируется на невозобновляемых источниках энергии. Именно поэтому остро

встаёт вопрос о снижении энергозатрат, предусматривающий минимальные требования для отдельных компонентов здания. В эту директиву также входит пункт о б энергоэффективности вентиляции и кондиционирования воздуха.

Автоматизация вентиляции в первую очередь актуальна для больших промышленных объектов: производственных площадей, фермерских хозяйств, спортивных комплексов, торговых и бизнес центров, мест массового общественного отдыха, но может с успехом применяться и в зданиях жилого фонда. От качества автоматики систем вентиляции и ее рабочих алгоритмов зависят безопасность и надежность работы всей вентиляционной системы. Автоматика приточной вентиляции также позволяет снизить энергопотребление за счет циклов своевременного включения-отключения различных групп сетевого оборудования.

В зависимости от специфики предприятия разрабатывается и система промышленной вентиляции. В каждом конкретном случае перед климатическими компаниями стоят определенные задачи. Безусловно, главная цель промышленной вентиляции – это создание и поддержка атмосферы, отвечающей всем гигиеническим требованиям. Состав воздуха, его состояние, температура, влажность – все это должно быть удовлетворительным. Помимо основных параметров, учитываются особенности технологии производства, условия хранения продукции и другое.

Автоматизация — одно из направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы с целью освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации, либо существенного уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций

Система автоматики вентиляции и кондиционирования воздуха – это совокупность устройств и алгоритмов, призванных обеспечить поддержание заданных климатических условий и управление ими, в соответствии с принятыми нормами (СНиП, ТУ) и другой нормативно-технической документацией. Система автоматики во многом определяет такие функциональные параметры систем вентиляции и кондиционирования как надежность, экономичность, эффективность и долговечность работы. Система автоматики систем вентиляции и кондиционирования, как показывает практика, позволяет экономить от 13% до 20% теплопотребления и хладопотребления, а в итоге и электропотребления.

Система автоматики вентиляции должна обеспечивать: регулирование скорости вращения вентилятора; защиту водяного калорифера от замерзания; поддержание заданной температуры воздуха в воздуховодах или помещении; индикацию степени загрязнения фильтров.

Автоматизация позволяет повысить производительность труда, улучшить качество продукции, как уже говорилось оптимизировать процессы управления, отстранить человека от производств, опасных для здоровья. Автоматизация, за исключением простейших случаев, требует комплексного, системного подхода к решению задачи. В состав систем автоматизации входят датчики (сенсоры), устройства ввода, управляющие устройства (контроллеры), исполнительные устройства, устройства вывода, компьютеры. Применяемые методы вычислений иногда копируют нервные и мыслительные функции человека. Весь этот комплекс средств обычно называют системами.

Автоматизация какого-либо технологического процесса подразумевает внедрение комплекса средств и методов, дающих возможность управлять этим самым процессом без непосредственного участия человека, оставляя за ним лишь право принимать самые важные решения.

Прежде всего, автоматизация вентиляционной системы существенно удешевляет ее эксплуатацию. Таким образом, минимизируется количество персонала, необходимого для обслуживания системы. Кроме этого, заметно снижается расход энергоресурсов и повышается уровень безопасности работы системы в целом.

Говоря о преимуществах автоматизации вентиляционных систем, нельзя не упомянуть об автоматическом сборе данных о работе каждого узла в конструкции всего агрегата. Таким образом, при сравнительно небольших материальных инвестициях в автоматизацию можно получить уникальную возможность существенно продлить эксплуатационный ресурс вентиляционной системы.

Более того, автоматизированная система управления может включать функцию удаления дыма, что тоже немаловажно. Особенно это преимущество актуально на промышленных и индустриальных предприятиях, где производство предусматривает выброс в окружающую среду дыма и прочих следов горения.

Полноценная эксплуатация системы автоматического управления вентиляцией возможна при наличии системы диспетчеризации.

Диспетчеризация вентиляции дает возможность осуществлять непрерывный контроль за работой системы вентиляции. При этом

удаленность системы вентиляции от центрального пункта управления не является существенным фактором.

Использование специализированных аппаратных и программных средств, ведущих сбор и обработку информации о состоянии вентиляции, позволяет в режиме реального времени отслеживать все происходящие процессы.

Долговечность и экономичность использования системы вентиляции определяется возможностью немедленного реагирования на сбои в системе, поломки, пожары и другие несанкционированные нарушения работы оборудования.

Именно система диспетчеризации помогает всегда вовремя реагировать на все изменения в процессах работы оборудования, поэтому система диспетчерского контроля, а также и управления, в последнее время становится все более востребованной.

Так система автоматизации строиться в соответствии с трехуровневой структурой на базе оборудования для комплексной автоматизации зданий:

- на нижнем уровне АСУ располагаются датчики и исполнительные устройства, кабельные связи между ними, необходимые для реализации алгоритмов автоматического управления инженерными системами.

- на среднем уровне АСУ располагаются шкафы автоматики, приборы управления.

- на верхнем уровне АСУ находится система диспетчеризации, состоящая из сервера и/или рабочих мест диспетчеров, необходимого программного обеспечения.

Внедрение АСУ приточно-вытяжной вентиляции позволит:

- расширить функции автоматического и автоматизированного контроля и управления;

- повысить надежность функциионирования системы противоаварийной защиты;

- повысить качество управления процессом воздухообмена;

- сократить количество и время локализации аварийных ситуаций и отказов оборудования.

Система автоматического управления предназначена для: поддержания температуры приточного воздуха в помещении в холодный период года изменением количества горячей воды, проходящей через воздухонагреватель приточной системы; поддержания температуры приточного воздуха в помещении в теплый период года изменением количества холодной воды, проходящей через секцию охлаждения приточной системы; защиты воздухонагревателя

приточной системы от замораживания; отключения систем при пожаре.

Безусловно, автоматизация помогает решать многие текущие проблемы производственного характера. У нее масса преимуществ.

Во-первых, автоматизация помогает управлять электродвигателями вентиляторов приточно-вытяжной вентиляции и приводами заслонок воздуха снаружи производственного комплекса.

Во-вторых, она способна защитить воздухонагреватели от замерзания (при различных термических условиях) и обеспечить их прогрев перед включением вентилятора.

В-третьих, автоматика срабатывает при угрозе замораживания системы при слабом потоке воздуха, в случае отключения питания или засорения воздушного фильтра. Как правило, система сигнализирует о подобного рода ситуациях.

В-четвертых, автоматизация регулирует температуру приточного воздуха, с целью ее соответствия установленным значениям. Это достигается с помощью воздействия на так называемый исполнительный механизм клапана в теплоносителе. Далее происходит автоматическое подключение системы регулирования при включении вентилятора, для чего в приточном воздуховоде внедрены специальные температурные датчики. При этом температура регулируется благодаря изменениям теплопроизводительности воздухонагревателя, который, в свою очередь, воздействует на клапан на теплоносителе.

В-пятых, в случае аварии оборудования промышленной вентиляции происходит автоматическое отключение, затем, когда питание вновь восстановится, система последовательно будет вновь запущена.

В-шестых, автоматизация «выручит» и в случае пожарной угрозы. В случае пожаров все инженерные коммуникации промышленной вентиляции также самостоятельно отключатся. Этот процесс происходит таким образом. Приточные системы отключаются автоматически с помощью специальных управляющих реле. На них приходит сигнал о возможной аварии.

В-седьмых, при ПДК (предельно допустимой концентрации) CO, автоматически происходит запуск систем приточно-вытяжной вентиляции. В то же время об этом сообщается в световом и звуковом предупреждении, например, в помещение охраны и в диспетчерскую предприятия.

В-восьмых, система автоматизации регулирует температуру воздуха по датчикам в случае воздушно-тепловых завес. Этот процесс

хорошо виден на примере гаража-стоянки, который есть у каждого предприятия. Вот ворота открываются, и включается вентилятор воздушно-тепловой завесы, далее начинает действовать клапан подачи теплоносителя к калориферу. Дело идет на секунды. Воздушно-тепловая завеса отключается автоматически спустя 30-40 секунд, после того, как ворота закроются, и температура воздуха в зоне ворот восстановлена до необходимой. Возможен и такой вариант, когда система автоматизации ВТЗ работает в режиме позиционного регулирования, то есть тогда, когда завеса работает не только при открытии ворот, но и при их снижении.

Да, промышленная вентиляция вариативна. Она открывает массу перспектив и возможностей для производственных предприятий, желающих создать такую рабочую атмосферу, которая способствует содержанию в целости и сохранности результатов производства, а также создают благоприятную среду для трудящихся на предприятии.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Баркалов Б.В. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1982, 312с.

2. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха/О.Я. Кокорин. – М.: Физматлит, 2003, 131с.

3. Ананьев В.А. Балуева Л.Н. Гальперин А.Д. и др. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Теория и практика. 2003. – 416 с.

4. Дроздов В.Ф. Отопление и вентиляция: Учеб. Пособие для строит. Вузов и фак. По спец. “Теплогазоснабжение и вентиляция”. Ч.2. Вентиляция. – М.: Высш. шк. 1984. – 263 с.

5. Оболенский Н.В., Денисюк Е. А. Холодильное и вентиляционное оборудование. – М.: КолоС, 2006.-248 с.

И.О. Киселев, А.Л. Ермоленко
Братский государственный университет, г. Братск,
Sspeak@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ НАСОСНОГО И ТЯГОДУТЬЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Энергосбережение - одна из приоритетных задач снижения затрат на выработку тепла и электроэнергии. Работы по снижению затрат на собственные нужды на тепловых электростанциях ведутся на протяжении многих лет. При плановых 10-17% эти затраты достигают до 20-30% вырабатываемой электроэнергии. Такой перекос возник по ряду причин, одна из которых заключается в том, что энергетические предприятия проектировались в 60-80 года прошлого века, и обеспечивали потребности промышленных предприятий и хозяйства ЖКХ. С момента проектирования до нашего времени многие промышленные предприятия изменили профиль работы, а некоторые просто прекратили свое существование. Изменились режимы работы ТЭЦ, а некоторого типа оборудования для изменения частоты вращения механизмом в период проектирования просто не существование**.** Изменились режимы работы ТЭЦ. Появилось современное оборудование.

Составляющие затрат электроэнергии на собственные нужды:

1. Сетевых насосов
2. Питательных насосов
3. Тягодутьевое оборудование
4. Вспомогательные насосы (перекачивающие, циркуляционные)

Все рассматриваемые механизмы в основном по принципу работы являются центробежными насосами и вентиляторами, привод механизмов асинхронные двигатели с постоянным числом оборотов.

Существует два основных способа регулирования. Центробежных насосов, вентиляторов

1) изменение характеристики системы (дросселирование задвижками на напорной или на всасывающей линиях, перепуск части жидкости из напорного трубопровода во всасывающий, впуск воздуха во всасывающий патрубок насоса)

2) изменение частоты вращения рабочего колеса (колес) механизма.

Наиболее экономически оправданный способ регулирования это устройства и оборудования по изменению числа оборотов рабочего колеса можно разделить на группы:

1. Турбопривод. Взамен устанавливается паровая турбина. Регулирование происходит за счет изменения нагрузки приводной турбиной (рис1).

Рис. 1.Турбопривод к питательному насосу ПН-500-185

2. Турбо(гидро)муфты. Между механизмом и электроприводом устанавливается турбо(гидро)муфта. Регулирование оборотов механизма происходит за счет разности оборотов между турбинным и насосным колесом, за счет наполнения муфты маслом (рис. 2).

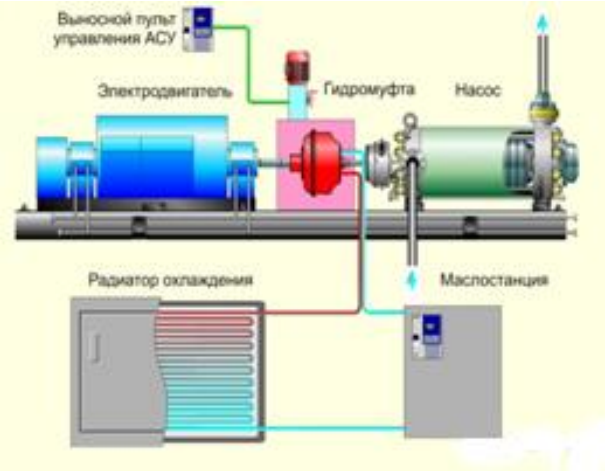


Рис. 2. Состав гидродинамического привода

3. Частотное регулирование. Для питания электродвигателя используется частотный асинхронный преобразователь частоты. Который служит для преобразования сетевого трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц в трёхфазный, частотой от 1 Гц до 800 Гц. В зависимости от напряжения подразделяются на низковольтные напряжение до 1000 В (рис3) и высоковольтные более 1000В (рис4).

Рис 3. Частотный преобразователь с асинхронным двигателем мощностью 1 квт 380В

Рис 4. Шкафы управления электродвигателями 0,4 кВ, 30кВТ

4. Регулирование путем изменения характеристик насосов. Способ представляет собой изменение характеристики насоса путем снятия и установки рабочих колес, в зависимости от сезона (зима-лето).

Рассмотрим варианты снижения затрат для каждой группы потребителей электроэнергии:

1. Сетевые насосы. При качественном регулировании нагрузки, принятом в нашей стране, когда расход теплоносителя остаётся практически неизменным в течение всего отопительного сезона и не требуется изменение расхода теплоносителя, использование частотного привода для сетевых насосов не целесообразно. В данном случае, приоритетным направлением является наладка тепловой сети, её шайбирование. Подбор насосов, либо изменение его характеристик путем замены рабочих без изменения числа оборотов, обеспечивающий эксплуатацию насоса в области максимальных КПД. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность работы с пониженным расходом воды в летний период, для чего обычно устанавливают дополнительные насосы.

2. Питательные насосы. Турбопривод. Для ТЭЦ с параметрами пара 140 ата характерно наличие турбин типа ПТ и Р, позволяющих получить пар давлением 13 ата на производственные нужды сторонних потребителей. В настоящее время, как правило, из-за снижения потребности в паре такие турбины недогружены. В этой связи при решении проблемы увеличения тепловой и электрической нагрузки ТЭЦ целесообразно использовать взамен электропривода питательного насоса турбину, пар на которую будет поступать из коллектора 13 ата, а отработанный пар подаваться в теплофикационный коллектор 1,2-2,5 ата. Такое техническое решение экономически выгодно, т.к. кроме дополнительной выработки электроэнергии (за счет загрузки турбин) и снижения потребления электроэнергии на собственные нужды (за счет замены электропривода питательных насосов на турбопривод) ТЭЦ получит возможность отпускать дополнительное количество тепла внешним потребителям (за счет отработанного пара приводных турбин насосов). Кроме того, турбопривод позволяет наиболее экономично регулировать производительность питательного насоса за счет изменения числа оборотов ротора.

Частотное регулирование. Этот способ регулирования предпочтителен для электродвигателей мощностью до 500 кВт. Для электродвигателей большей мощности частотно регулирование возможно, но тут возникают трудностей для реализации данного решения. Стоимость высоковольтного оборудования по соотношению с низковольтным возрастает в разы. Для установки оборудования требуются отдельные помещения с кондиционирование воздуха, которых на электростанциях проекта восьмидесятых годов практически нет, потребуется строить отдельные задания, что

увеличивает капитальные затраты. Необходима прокладка дополнительных кабелей и установка дополнительных трансформаторов. Для обслуживания и ремонта требуется привлечение специализированной организации. Быстрое моральное старение комплектующих (частая смена элементной базы) и потеря ремонтопригодности через 10-12 лет работы.

Турбо (гидромуфты). Применение данного вида регулирования получило большое распространение, в настоящее врем на станциях высокого давления. Основным достоинством является простота конструкции, надежность, малые габариты, не высокие капитальные затраты на установку гидромуфты и оборудования связанного с ней. Стоимость оборудования и монтаж меньше, чем оборудование для частотного регулирования. Ресурс муфты составляет 200 000-250 000 часов. Недостатком данного типа регулирования является то что насос не может работать на номинальных параметрах, по причине что между насосным и турбинным колесом происходит проскальзывание в зависимости от нагрузки может достигать до 2%.

Изменение характеристик насосов. Этот способ регулирования получил распространение на электростанциях среднего давления. Материальные затраты не большие на частичную разборку насоса для снятия рабочего колеса для работы в период минимальных нагрузок станции и установка перед отопительным сезоном

3. Тягодутьевое оборудование. Здесь возможно применение как частотного регулирования, так и установка турбо(гидро)муфты. Но частотное регулирование предпочтительно. На ТЭЦ с параметрами пара 140 ата, на тягодутьевом оборудовании установлены электродвигатели с обмотками позволяющими работать в двухскоростном режиме, работа турбомуфты не эффективна так как муфта проектируется под конкретный диапазон вращения электродвигателя и механизма. На ТЭЦ среднего давления мощность электродвигателей не превышает 200-300 кВатт, материальные затраты на приобретение оборудования и монтаж не велики по сравнению с приобретением турбо(гидро)муфтой.

4.Вспомогательное оборудование (перекачивающие, циркуляционные насосы). Для изменения характеристик насосов мощность до 300 квт предпочтительно применить частотное регулирование. Но здесь нужно предпочтительно рассматривать регулирование не отдельного насоса, а группы насосов схемы в которых установлены насосы, с возможность регулирования любого насоса выделенной группы. На пример, при изменении расхода в сторону увеличения, частотное регулирование выводит насос на

максимальные обороты, и автоматически включает резервный и начинает управлять резервным насосом поддерживает заданные параметры, при снижении нагрузок процесс идет в обратном направлении.

Рассмотренные в данной статье способы регулирования нашли широкое распространение, как в России, так и во всем мире. Позволяют снизить затраты электроэнергии на собственные нужды. Исключают затраты на ремонт оборудования ранее использовавшегося для поддержания параметров регулируемой среды. Выбор частотного регулирование подходит к каждому типу оборудования. Позволяет добиться экономии электроэнергии, увеличения срока службы оборудования и других положительных эффектов. Использование частотного привода позволяет экономить значительные объемы (более 30%) электроэнергии за счет регулирования скорости электродвигателя. Преобразователи частоты позволяют избежать повреждения двигателей, так как за их счет осуществляется плавный пуск и отсутствуют прямые пуски с 6-7 кратными пусковыми токами. Гибкое управление за счет простоты перенастройки регулируемых параметров технологического цикла.. Встроенные в Преобразователи частоты функции позволяют реализовывать сложные задачи автоматического управления без дополнительных внешних устройств. требует всесторонней проработки в каждом конкретном случае исходя из местных условий работы ТЭЦ и установленного оборудования.

Научный руководитель: д.т.н. профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Черномырдин С.Ю., Ассесоров Ю.С. Обследование насосного и тягодутьевого оборудования с целью выявления нерациональных потерь / Справочное пособие: - Пермь: РЦИ ПНИПУ, 2016 – 108 с.

Е.О. Козлова, А.В. Немцева
Братский государственный университет, г. Братск,
Kozlova_Ekaterina_94@bk.ru

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Обеззараживание питьевой воды — это удаление из воды болезнетворных микроорганизмов. Существует несколько способов обеззараживания воды (рис. 1). Как правило, для получения достаточных и устойчивых результатов обеззараживания питьевой воды она должна быть подвергнута предварительной очистке.

Рис. 1. Способы обеззараживания воды

При химических способах обеззараживания питьевой воды для достижения стойкого обеззараживающего эффекта необходимо правильно определить дозу вводимого реагента и обеспечить достаточную длительность его контакта с водой. Доза реагента определяется пробным обеззараживанием или расчетными методами. Для поддержания необходимого эффекта при химических способах обеззараживания питьевой воды доза реагента получается с избытком (остаточный хлор, остаточный озон), гарантирующим уничтожение микроорганизмов, попадающих в воду некоторое время после обеззараживания.

При физических способах необходимо подвести к единице объема воды заданное количество энергии, определяемое как произведение интенсивности воздействия (мощности излучения) на время контакта.

Зараженность воды микроорганизмами контролируют, определяя общее число бактерий в 1 мл воды и количество индикаторных бактерий группы кишечной палочки (БГКП). Мерой зараженности является так называемый коли-индекс, т. е. содержание E . coli в 1 литре воды.

Однако эта норма не всегда коррелирует с обеззараживанием воды от вирусов . При дозах УФ-излучения и хлора, обеспечивающих одинаковый эффект обеззараживания по коли-индексу, воздействие ультрафиолета на вирусы (вируцидный эффект) значительно сильнее, чем в случае применения хлора. Озонирование же по вируцидной активности практически не уступает УФ-облучению. Реальные практические дозы для достижения высокого вируцидного эффекта: 0,5–0,8 г/л озона при контакте 12 мин; при УФ-облучении – 16–40 мДж/см3.

Наиболее распространенным методом обеззараживания воды был и остается метод хлорирования. Это объясняется высокой эффективностью, простотой используемого технологического оборудования, дешевизной применяемого реагента – жидкого или газообразного хлора – и относительной простотой обслуживания.

Очень важным и ценным качеством метода хлорирования является его последействие. Если количество хлора взято с некоторым расчетным избытком, так чтобы после прохождения очистных сооружений в воде содержалось 0,3–0,5 мг/л остаточного хлора, то не происходит вторичного роста микроорганизмов в воде.

Озонирование воды основано на свойстве озона разлагаться в воде с образованием атомарного кислорода, разрушающего ферментные системы микробных клеток и окисляющего некоторые соединения, которые придают воде неприятный запах (например, гуминовые основания). Количество озона, необходимое для обеззараживания питьевой воды , зависит от степени загрязнения воды и составляет 1–6 мг/л при контакте в 8–15 мин; количество остаточного озона должно составлять не более 0,3–0,5 мг/л, т. к. более высокая доза придает воде специфический запах и вызывает коррозию водопроводных труб. С гигиенической точки зрения озонирование воды – один из лучших способов обеззараживания питьевой воды. При высокой степени обеззараживания воды оно обеспечивает ее наилучшие органолептические показатели и отсутствие высокотоксичных и канцерогенных продуктов в очищенной воде.

Однако в связи с большим расходом электроэнергии, использованием сложной аппаратуры и необходимостью высококвалифицированного обслуживания, озонирование нашло

применение для обеззараживания питьевой воды только при централизованном водоснабжении.

Метод озонирования воды технически сложен и наиболее дорогостоящий. Технологический процесс включает последовательные стадии очистки воздуха, его охлаждения и осушки, синтеза озона, смешения озоновоздушной смеси с обрабатываемой водой, отвода и деструкции остаточной озоновоздушной смеси, вывода ее в атмосферу. Все это требует также дополнительного вспомогательного оборудования (озонаторы, компрессоры, установки осушки воздуха, холодильные агрегаты и т. д.), объемных строительно-монтажных работ.

Озон токсичен. Предельно допустимое содержание этого газа в воздухе производственных помещений 0,1 г/м3. К тому же существует опасность взрыва озоновоздушной смеси.

Применение тяжелых металлов (медь, серебро и др.) для обеззараживания питьевой воды основано на использовании их «олигодинамического» свойства – способности оказывать бактерицидное действие в малых концентрациях. Эти металлы могут вводиться в виде растворов солей либо методом электрохимического растворения. В обоих этих случаях возможен косвенный контроль их содержания в воде. Следует заметить, что ПДК ионов серебра и меди в питьевой воде достаточно жесткие, а требования к воде, сбрасываемой в рыбохозяйственные водоемы, еще выше.

К химическим способам обеззараживания питьевой воды относится также широко применявшееся в начале 20 в. о беззараживание соединениями брома и йода, обладающими более выраженными бактерицидными свойствами, чем хлор, но требующими и более сложной технологии. В современной практике для обеззараживания питьевой воды йодированием предлагается использовать специальные иониты, насыщенные йодом. При пропускании через них воды йод постепенно вымывается из ионита, обеспечивая необходимую дозу в воде. Такое решение приемлемо для малогабаритных индивидуальных установок. Существенным недостатком является изменение концентрации йода во время работы и отсутствие постоянного контроля его концентрации.

Применение активных углей и катионитов, насыщенных серебром, например, С-100 Ag или С-150 Ag фирмы « Purolite », преследует цели не «серебрения» воды, а предотвращения развития микроорганизмов при прекращении движения воды. При остановках создаются идеальные условиях для их размножения – большое количество органики, задержанное на поверхности частиц, их

огромная площадь и повышенная температура. Наличие серебра в структуре этих частиц резко уменьшает вероятность обсеменения слоя загрузки. Серебросодержащие катиониты разработки ОАО НИИПМ – КУ-23СМ и КУ-23СП – содержат в себе значительно большее количество серебра и предназначены для обеззараживания воды в установках небольшой производительности.

Из физических способов обеззараживания питьевой воды наибольшее распространение получило обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами.

Обеззараживание питьевой воды ультразвуком основано на способности его вызывать т. н. кавитацию – образование пустот, создающих большую разность давления, что ведет к разрыву клеточной оболочки и гибели бактериальной клетки. Бактерицидное действие ультразвука разной частоты весьма значительно и зависит от интенсивности звуковых колебаний.

Из физических способов индивидуального обеззараживания воды наиболее распространенным и надежным является кипячение, при котором, кроме уничтожения бактерий, вирусов, бактериофагов, антибиотиков и др. биологических объектов, часто содержащихся в открытых водоисточниках, удаляются растворенные в воде газы и уменьшается жесткость воды. Вкусовые качества воды при кипячении меняются мало.

Во многих случаях наиболее эффективным оказывается комплексное применение реагентных и безреагентных методов обеззараживания воды. Сочетание УФ-обеззараживания с последующим хлорированием малыми дозами обеспечивает как высочайшую степень очистки, так и отсутствие вторичного биозагрязнения воды.

Достаточно новыми способами обеззараживания воды являются электрохимический и электроимпульсный. Серийно производятся установки «Изумруд», «Сапфир», «Аквамин» и т. п. Их работа основана на пропускании воды через электрохимический диафрагменный реактор, разделенный ультрафильтрационной металлокерамической мембраной на катодную и анодную область. При подаче постоянного тока в катодной и анодной камерах происходит образование щелочного и кислого растворов, электролитическое образование активного хлора. В этих средах гибнут практически все микроорганизмы и происходит частичное разрушение органических загрязнений. Конструкция проточного электрохимического элемента хорошо отработана, и набором из различного числа таких элементов получают установки заданной

производительности. Кроме того, их используют для получения дезинфицирующих растворов – католита и анолита, применяемых в медицинской практике. Что касается заявлений разработчиков об изменении структуры воды и ее чудодейственных свойствах, оставим это без комментариев.

При электроимпульсном воздействии производится электрический разряд в воде – электрогидравлический удар, т. н. эффект Л. А. Юткина. При разряде возникает ударная волна сверхвысокого давления, световое излучение и образуется озон. Эти факторы губительно действуют на биологические объекты в воде.

Научный руководитель: д.т.н. профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов: - М.: АСВ, 2002 – 704 с.

2. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. К659 Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стереот. М.: Издательский дом МЭИ, 2006.- 309(11) с.: ил.

Л.С. Кордюкова
Самарский государственный технический университет, г. Самара
kordyukova.lyubov@gmail.com

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Экономия топливно-энергетических ресурсов — одна из важнейших задач любого промышленного предприятия. Спрос на ТЭР растет с увеличением объемов производства, и вместе с этим повышаются и тарифы. Высокая стоимость ресурсов при нерациональном их использовании повышает себестоимость продукции и делает производство менее конкурентоспособным.

Поэтому важно реализовывать в первую очередь те мероприятия по энергосбережению, которые обеспечат наибольший экономический, технологический и экологический эффект от их внедрения.

На примере самарского завода по производству автоклавного газобетона была проведена многокритериальная оценка эффективности энергосберегающих проектов в тепло и электротехнике.

На основе результатов энергетического обследования завода были рекомендованы 11 энергосберегающих проектов: внедрение частотно-регулируемого привода, установка изоляции теплопровода системы отопления, замена изоляции технологического паропровода, реконструкция системы внутреннего освещения цеха, реконструкция системы наружного освещения территории предприятия, внедрение системы энергоменеджмента, утепление фасада главного цеха, утепление крыши главного цеха, внедрение автоматической системы технологического учета электроэнергии АСТУЭ, замена горелочных устройств водогрейных котлов, установка пластинчатого теплообменника на участке приготовления смеси.

В связи с многообразием предложенных энергосберегающих мероприятий возникает вопрос «какие из предложенных энергосберегающих проектов дадут максимальный эффект в условиях ограниченных инвестиций?»

Для ответа на этот вопрос был выбран метод Data Envelopment Analysis (Анализ Охвата Данных), который реализует непараметрический подход к определению границ эффективности и ранжированию процессов и производств, затрачивающих несколько видов входных ресурсов на их преобразование в несколько видов выходных продуктов [1].

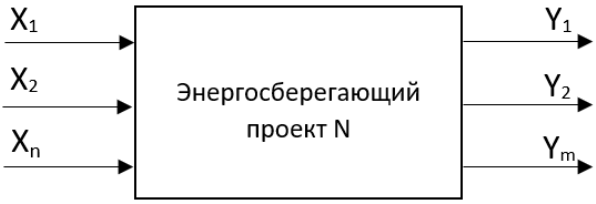


Рис.1. Модель объекта для определения его сравнительной эффективности

Для N объектов, где OUT – число выходных параметров и INP – число входных параметров, постановка задачи математического программирования выглядит следующим образом:

$$e_k = \frac{\sum_{j=1}^{OUT} w_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^{INP} v_i x_{ik}} \to \max_{w,v},\ \forall k = 1,...N \qquad (1)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^{OUT} w_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^{INP} v_i x_{ik}} \le 1 \qquad (2)$$

$$\forall k = 1,...,N,\ \mathrm{w}_j > 0,\ \forall j = 1,...,OUT, \mathrm{v}_i > 0,\ \forall \mathrm{i} = 1,...,INP$$

где e_k – коэффициент, определяющий эффективность каждого объекта относительно остальных;

x_{ik} – входной параметр объекта моделирования, требующий минимизации;

y_{jk} – выходной параметр объекта моделирования, требующий максимизации;

v_i, w_j – весовые коэффициенты, соответственно, при входном и выходном параметрах.

Необходимо отметить, что DEA-метод даёт оценку относительной эффективности, что не является безусловной (абсолютной) эффективностью оцениваемого объекта. Данный подход определяет, насколько эффективен определенный процесс по отношению к подобным [2].

Для применения DEA-метода к задаче по выбору наиболее эффективных энергосберегающих проектов были рассчитаны показатели, представленные в табл. 1.

В ходе проведенного анализа выбраны четыре модели оценки эффективности энергосберегающих проектов: модель экономической оценки эффективности (E1), модель экологической эффективности (E2), модель экономико-экологической эффективности (E3), Модель варианта экономико-экологической эффективности с учетом срока окупаемости (E4).

Таблица 1. Мероприятия и показатели

№	Наименование проекта	Годовая экономия в натураль-ном выражении, т.у.т.	Годовая экономия в стоимостном выражении, тыс. руб.	Инвести-ции, тыс.руб.	Эксплуата-ционные расходы, тыс руб./год	Срок окупа-емости, мес.	NPV, тыс. руб.	Снижение выбросов CO_2, т	Срок эксплу-атации, лет
1	Внедрение частотно-регулируемого привода	4,353	201,016	313,077	24,08	37	458,253	15,926	8
2	Установка изоляции теплопровода системы отопления	6,257	54,344	114,639	8,81	48	120,51	10,03	11
3	Замена изоляции паропровода для технологии	4,571	39,703	79,635	6,13	46	92,162	7,327	11
4	Реконструкция внутреннего освещения главного цеха	11,561	533,854	1581,348	105,42	71	635,82	42,295	10
5	Реконструкция наружного освещения территории предприятия	3,2	147,753	258,46	17,23	41	360,99	11,706	10
6	Внедрение системы энергоменеджмента	16,113	749,545	1650	137,5	48	1854,477	25,829	15
7	Утепление фасада главного цеха	46,9	454,634	1713,6	122,36	104	412,029	52,258	15
8	Утепление крыши главного цеха	55,627	483,138	1531,87	109,42	78	727,028	66,247	15
9	Внедрение АСТУЭ	24,895	1148,16	2278	189,833	45	2534,957	90,9	12
10	Замена горелочных устройств водогрейных котлов	10,868	94,613	226,215	17,4	55	155,156	17,421	10
11	Установка пластинчатого теплообменника на участке приготовления смеси	7,525	65,354	176,3	13,56	63	59,274	12,063	7

В моделях Е1, Е2 и Е3 в качестве входных параметров были приняты инвестиции (X_1) и эксплуатационные расходы (X_2), в модели Е4 – инвестиции (X_1), эксплуатационные расходы (X_2) и срок окупаемости (X_3). Выходным параметром в модели Е1 является чистый дисконтированный доход (Y_1), в модели Е2 – снижение выбросов CO_2 (Y_2), в моделях Е3 и Е4 – чистый дисконтированный доход (Y_1) и снижение выбросов CO_2 (Y_2).

Вычисления производились с помощью пакета прикладных программ Matlab. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчетов.

Наименование энергосберегающего проекта	**Е1**	**Е2**	**Е3**	**Е4**
1. Внедрение частотно-регулируемого привода	1	0,5533	1	1
2. Установка изоляции теплопровода системы отопления	0,7183	0,9524	0,9524	1
3. Замена изоляции паропровода для технологии	0,7906	1	1	1
4. Реконструкция внутреннего освещения главного цеха	0,2878	0,3356	0,3699	0,6867
5. Реконструкция наружного освещения территории предприятия	1	0,5684	1	1
6. Внедрение системы энергоменеджмента	0,7678	0,1701	0,7678	0,9806
7. Утепление фасада главного цеха	0,1684	0,3573	0,3573	0,6805
8. Утепление крыши главного цеха	0,3323	0,5065	0,5065	1
9. Внедрение АСТУЭ	0,7602	0,4336	0,7652	1
10. Замена горелочных устройств водогрейных котлов	0,4685	0,8376	0,8376	1
11. Установка пластинчатого теплообменника на участке приготовления смеси	0,2296	0,7442	0,7442	0,8162

Результаты расчетов показали, что с точки зрения экономической выгоды Е1 наиболее эффективными оказались проекты 1 и 5 (Е1=1), максимальный экологический эффект у мероприятия 3 (Е2=1). Максимальную экономико-экологическую эффективность показали проекты 1, 3 и 5 (Е3=1). Однако при введении в качестве входного параметра срока окупаемости проекта помимо вышеперечисленных максимальную эффективность демонстрируют мероприятия 2, 8, 9, 10 (Е4=1).

В результате произведенных расчетов многокритериальной оценки эффективности энергосберегающих проектов методом DEA можно сделать следующий вывод: из 11 предложенных проектов по энергосбережению, составленных по результатам энергетического обследования, 7 показали максимальную эффективность, среди которых внедрение частотно-регулируемого привода, установка изоляции теплопровода системы отопления, замена изоляции паропровода для технологии, реконструкция наружного освещения территории предприятия, утепление крыши главного цеха, внедрение АСТУЭ, замена горелочных устройств водогрейных котлов. Эти проекты в дальнейшем могут быть рекомендованы к внедрению на предприятии. Остальные проекты рекомендуется доработать, внедрить только при наличии дополнительного финансирования или исключить из инвестиционной программы предприятия.

Научный руководитель: к.т.н. доцент М.Ю. Деревянов

Литература:

1. Цапенко М.В., Хуснутдинова Ф.Н. Методы оценки эффективности энергосберегающих мероприятий // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности: Сборник статей Международной научно-практической конференции (МНПК «ЛЭРЭП-8-2014»). – Москва, Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева, 19 – 20 ноября 2014 года. (с. 138-142).

2. Ramanathan. R. An Introduction to data envelopment analysis: A tool for performance measurement / R. Ramanathan. – New Delhi: Sage Publications, 2003. – 203 p.

Е.С.Куклин, А.А.Паутов
Братский государственный университет, г. Братск
Pautov21989@icloud.com

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Пока руководство Газпрома озабочено тем, как бы получить доступ к европейским газораспределительным сетям и стать конечным поставщиком своего продукта, территория самой России газофицирована всего на 53%, а четверть жителей о "голубом топливе" только мечтают.

На днях Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ) провел опрос, чтобы выяснить отношение россиян к уровню газификации страны и газовой политике.

Согласно данным, полученным в ходе майского опроса центра, в местах проживания большинства россиян (73%) есть доступ к магистральному газоснабжению. В то же время четверть опрошенных такого доступа не имеют.

Согласно же данным Газпрома, Россия газифицирована на 53%. При этом в городах "голубое топливо" доступно 60% населения, а в сёлах - 34%-м. Но это в целом по стране. Есть регионы, где газом обеспечены всего 4% сельских жителей.

Президент России Владимир Путин сравнил газификацию государства с ещё одним национальным проектом, реализация которого не терпит промедления. По словам президента, газификация села должна стать толчком к развитию агропромышленного комплекса и способствовать повышению качества жизни населения.

В течение трех лет на газификацию "Газпром" планирует потратить не менее 35 млрд. рублей в 53 регионах. По проекту за это время в стране появится 12 тысяч километров новых газопроводов. А после реализации программы обеспеченность потребителей газом в стране вырастет до 60%. Газ на своих кухнях смогут зажечь более 11 миллионов россиян в 1120 населённых пунктах.

"Голубое топливо" придёт почти в 4 миллиона квартир и частных домов, более 5000 сельских котельных, около полутысячи сельскохозяйственных предприятий и почти в 20 тысяч социальных организаций - больницы, школы, детские сады и т. д.

За строительство газопроводов, ведущих газ в города и поселки, будет отвечать "Газпром", а вот доведение газовых сетей до конечного потребителя ляжет на местные бюджеты. В частности, местные власти отвечают за строительство внутрипоселковых и домовых сетей,

строительство новых или перевод на газ действующих котельных, установку газовой аппаратуры в домах. Эти мероприятия должны быть реализованы одновременно с завершением строительства "Газпромом" Правда, очень часто местные власти ссылаются на нехватку средств и газопроводы, построенные "Газпромом", либо простаивают, либо работают гораздо ниже расчетной мощности.

До сих пор газификация страны шла неравномерно. Самая напряженная ситуация в этом отношении складывается на Дальнем Востоке. Доступа к голубому топливу лишено подавляющее большинство респондентов, представляющих разные типы поселений Дальневосточного федерального округа (82%), причем 60% из них не видят даже перспективы изменения данной ситуации. К числу наименее газифицированных относятся также, по оценкам опрошенных, Сибирский и Уральский федеральные округа (58 и 42% соответственно).

И наоборот, Приволжский, Южный, Центральный федеральные округа газом обеспечены, по свидетельству респондентов, практически полностью (94, 89 и 81% соответственно).

В этом году составлены сетевые графики газификации регионов. Имея такую информацию местные бюрократы должны вовремя обеспечивать все необходимые условия для газификации района - осуществлять выдачу технических условий и согласований, экспертизы проектов и отвод земель.

К какому году будет закончен процесс газификации России - сложный вопрос. Впрочем, когда это процесс завершится, появятся новые проблемы.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Жила А.В.- « Газовые сети и установки» Изд.Академия 2005 г.
2. Брюханов О.Н. -Основы эксплуатации оборудования и систем газоснабжения: Учебник- М.:ИНФРА-М, 2005. – 256 с.
3. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации газового хозяйства организаций - Москва «Издательство НЦЭНАС» 2007г.

А.С. Лбов
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ,
г. Братск,
aleksej38rus@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Насосные агрегаты составляют значительную часть оборудования теплоэнергетических предприятий. Это означает, что работа таких агрегатов оказывает существенное влияние на бесперебойное обеспечение потребителей тепловой и электрической энергии, так как они используются для подачи питательной воды в котельные установки, для перекачки конденсата, подачи жидкого топлива и т.д.

А значит вопросы, связанные с повышением устойчивости работы и надежности эксплуатации насосов являются одними из основных на энергетических объектах.

На сегодняшний день для совершенствования работы гидравлических систем был выбран путь модернизации эксплуатируемого оборудования, особенно крупных насосов.

По данным Europump, до 60% насосных станций, эксплуатирующихся в мире, работают с КПД всего лишь 10-40%, это связано с тем, что насосы вынуждены работать в достаточно широких пределах реальной рабочей зоны, отличающейся от оптимальной рабочей зоны насосного агрегата.[1] Еще одним обстоятельством, приводящем к сокращению ресурса агрегата, является невозможность экономично регулировать требуемый расход.

Отмеченные обстоятельства указывают на то, что необходимо предъявлять повышенные требования к определению реального ресурса насосных агрегатов, а также к организации их технического обслуживания и ремонта с учетом особенностей условий эксплуатации и уникальности оборудования, в результате модернизации.

Для повышения надежности эксплуатации насосов проводят анализ основных повреждений оборудования.

Анализ такой информации позволит выявить самые уязвимые узлы и детали оборудования, а также разработать методы по повышению надежности данных узлов и деталей, что в свою очередь позволит снизить вероятность отказа насосного оборудования.

На рис. 1 представлены результаты анализа повреждений насосов [2]. На 34 теплоэнергетических объектах группой специалистов было исследовано более 1100 единиц насосных агрегатов за двухлетний период. В ходе исследований было выяснено, что у примерно около

69% насосов были найдены повреждения. Также на рис.2 можно увидеть, что основными повреждениями агрегатов являются повреждения подшипникового узла (37,1 %) и уплотнений (44,3%).

Нахождение и ликвидация причин таких повреждений позволит снизить аварийность агрегата, а также повысить надежность и стабильность его работы.

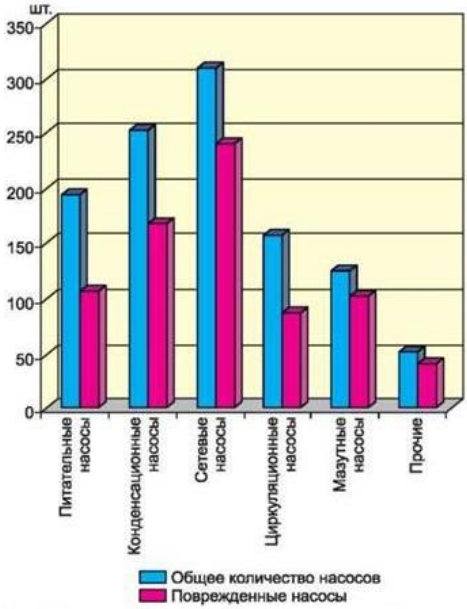


Рис. 1. Статистика повреждений насосного оборудования на 34 теплоэнергетических объектах центральной части

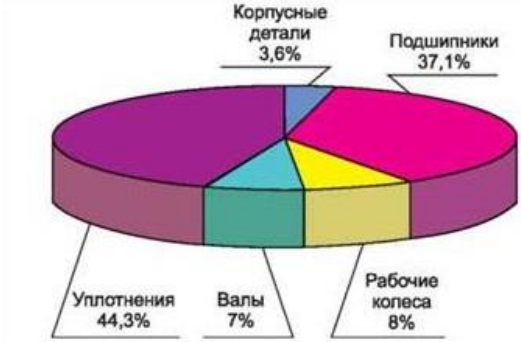


Рис. 2. Диаграмма распределения повреждений по элементам насоса

Регулярное проведение анализа и оценки работоспособности насосной установки поможет эксплуатирующему персоналу принять верное, обоснованное решение в процессе эксплуатации.

Анализ работоспособности сопровождается регулярным диагностическим контролем, совокупностью обязательных мероприятий, таких как:

- проверка надежности крепления насосного агрегата к раме и фундаменту, проверка состояния рамы и фундамента (фундаменты насосных агрегатов проверяют визуально на образование трещин, выкрашивания, загрязнения маслом);
- внешний осмотр насосного агрегата с целью обнаружения пропусков среды между фланцами и в разъемах корпуса насоса, масла из маслосистемы насоса;
- осмотр концевых уплотнений вала и оценка объема утечек;
- определение «на слух» наличия посторонних шумов; при повышенной вибрации определение ее величины с помощью прибора;
- проверка температуры подшипников;
- контроль давления уплотняющей жидкости (для конструкции двойного торцового уплотнения) по манометру, установленному на выходе из камеры уплотнения до регулируемого вентиля;
- проверка уровня масла в баке (при внешней принудительной системе смазки) или картере подшипников; в случае принудительной подачи смазки контроль давления в маслосистеме;
- контроль вибрации.[3]

На основании результатов диагностики выявляют дефекты и уточняют состав и объем работ, подлежащих выполнению при очередном ремонте.

Ремонт, в свою очередь, в соответствии с графиками планово-предупредительных работ в процессе эксплуатации подразделяется на следующие виды:

- текущий ремонт включает: разборку насоса, подшипникового узла для проверки и чистки рабочего колеса, подшипников и корпуса насоса, проверку и замену сальниковых уплотнений, проверку крепежных деталей, свободного вращения вала, замена масла в маслосистеме агрегата и т.д.; (данный метод позволяет снизить вероятность появления основных повреждений: в уплотнениях и подшипниковых узлах)
- средний ремонт включает, помимо работ текущего ремонта: разборку ротора, замену защитных втулок, замена подшипников, замена деталей, подвергшихся износу, а также ремонт торцевых уплотнений;

- капитальный ремонт включает в себя работы текущего и среднего ремонта, а также: ремонт корпуса, замена ротора, испытание насоса по производительности, ремонт фундамента насоса, окраска насоса.

Данное разделение ремонтных работ позволяет насколько это возможно продлить ресурс насосной установки, так как своевременное проведение текущего ремонта поможет исключить многие дефекты и повреждения, которые в будущем могут стать причиной среднего или капитального ремонта, что, в свою очередь, снизит затраты на ремонт и обеспечит устойчивую и надежную работу установки.

Для того, чтобы произвести качественные ремонтные работы или корректно спланировать проведение таких работ, необходимо произвести дефектацию деталей. На каждую деталь создается специальная карта, в которой приводится эскиз детали, указываются материал, из которого она изготовлена, места предположительных дефектов и способы их обнаружения, а также допустимые размеры деталей и способы устранения дефектов.

Способы обнаружения дефектов делятся на два вида: визуальные и измерительные.

Измерительные способы обнаружения дефектов: контроль размеров и геометрической формы (штангенциркулями, индикаторами, микрометрами и др.); выявление скрытых дефектов (методы: капиллярный, магнитный, ультразвуковой, люминесцентный).

После того, как закончится процесс дефектации деталей и будет определено их техническое состояние, происходит сортировка эти деталей на три группы:

- к первой группе относят годные детали, имеющие допустимые размеры. Их отправляют на сборку или склад готовых деталей. (Обычно окрашивают в зеленый цвет)

- ко второй группе относят подлежащие ремонту детали. Их отправляют на ремонт. (Обычно окрашивают в белый или синий цвет)

- к третьей группе относят детали негодные, неподлежащие восстановлению. Их отправляют на склад металлолома.

В итоге для повышения устойчивой и надежной работы насосной установки необходимо:

- проводить анализ основных повреждений насосов;

- проводить регулярный диагностический контроль;

- своевременно осуществлять ремонт оборудования, в зависимости от обнаруженных повреждений;

- регулярно проводить дефектацию деталей оборудования для корректного планирования ремонтных работ и качественного их осуществления.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. А.В. Волков, А.Г. Парыгин, Г.П.Хованов, А.В. Наумов. Повышение эффективности работы центробежных насосов, находящихся в эксплуатации// Новости теплоснабжения №10 (122), 2010г.
2. Волков А.В., Панкратов С.Н. Анализ повреждений насосного оборудования на тепловых энергетических объектах// Тяжелое машиностроение. 2005. № 10. С. 2-6.
3. Ремонт центробежных насосов на различных предприятиях [Электронный ресурс]. – URL: https://revolution.allbest.ru/manufacture/ 0025571 3_0.html

И.Д. Лобов, М.В. Лобова
Братский государственный университет, г. Братск
vane01@rambler.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ТРУБНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОКЛАДКЕ СЕТЕЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

При строительстве тепловых сетей в частных секторах остро стоит вопрос правильности прокладки (в непроходных каналах, в грунт) и стоимости прокладки. Требуется закупка труб, тепловой изоляции, отводов, запорной арматуры, лотков и т.д.

Однако имеется вариант комплексного решения. Финляндская компания Uponor разработала 1-4 трубную систему подачи и возврата теплоносителя для нужд отопления и нужд ГВС (рис. 1).

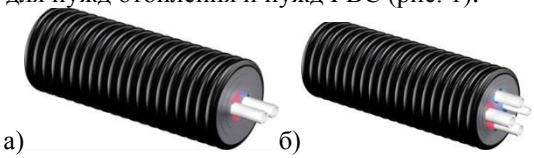


Рис.1. а) Двух трубная система для отопления б) четырех трубная система для отопления и горячего водоснабжения.

Трубная система Ecoflex являются хорошим решением для подачи тепла из местной котельной непосредственно в здание.

Теплоизолированные трубопроводы Uponor Ecoflex – это предварительно изолированные в заводских условиях полимерные трубы с пенополимерной тепловой изоляцией. Трубы изготовлены их сшитого полиэтилена, теплоизоляция – из вспененного полиэтилена с закрытыми порами, защитный гофрированный кожух – из полиэтилена высокой плотности. Для подключения отдельных зданий предлагается решение «все-в-одном» для подачи, как отопления, так и горячей воды.

Основные преимущества теплоизолированных труб:

- отсутствие необходимости дорогостоящей и пожароопасной сварки;
- соединение труб без специального инструмента;
- уникальное свойство самокомпенсации;
- исключительная гибкость, обеспечивающая быструю укладку на месте выполнения работ;
- теплоизоляция из вспененного полиэтилена не намокает в течение всего срока эксплуатации.

Системы труб Ecoflex обладает хорошей гибкостью, что позволяет не использовать гибы при поворотах трубы. Комплексность теплоизоляции и труб облегчает монтаж и не требует строительства опорных и защитных сооружений, повышает эффективность теплоизоляции. Стыковка Т-образного соединения производится с помощью специальных быстро устанавливаемых фитингов (рис. 2). Рабочее давление составляет до 6 МПа.

Рис.2. Т-образное соединение

Подобное решение хорошо применимо для частного строительства в южных регионах России т.к. Рабочие температуры теплоносителя ниже, чем в северных и условия прокладки в грунты более проще.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. Traid U. Uponor Water Bulletin – Uponor 2017- 86с.
2. Uponor Professional Plumbing Installation Guide - Uponor, Inc. 2017г. 15с.
3. Pre-insulated pipes for optimal system design [Электронный ресурс]. – URL: https://www.uponor.com/products/heat-and-water-distribution/preinsulated-pipe-for-heat-networks

И.Д. Лобов, М.В. Лобова

Братский государственный университет, г. Братск

vane01@rambler.ru

ПЕРЕХОД ОТ ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЫ ГВС НА ЗАКРЫТУЮ В 2022 ГОДУ

Если рассмотреть в процентах количество отпущенного тепла на нужды населения, то на отопление приходится 52%, а на горячее водоснабжение 48% от всего отпуска. Не менее 70% жилых домов осуществляют горячее водоснабжение посредством открытой системы теплоснабжения. В соответствии с изменениями, внесенными в Федеральный Закон № 190-ФЗ от 27 июля 2010 г. «О теплоснабжении», подходы к созданию систем горячего водоснабжения изменяются.

Раньше применялась как открытая, так и закрытая система, но с 1 января 2013 г. подключение вновь вводимых объектов капитального строительства к системам ГВС должно будет осуществляться только по закрытой схеме. А с 1 января 2022 г. открытые системы теплоснабжения должны исчезнуть.

Чтобы понять причины изменений в законодательстве сопоставим плюсы и минусы открытой и закрытой систем.

Отметим следующие недостатки открытой схемы:

- повышенные расходы тепловой энергии на отопление и ГВС;
- повышенные затраты на химводоподготовку.

- повышенные расходы топлива и электроэнергии на производство тепловой энергии;
- повышенные затраты на эксплуатацию котельных и тепловых сетей;
- потребители не получают качественное теплоснабжение из-за больших потерь тепла и количества повреждений на тепловых сетях;
- при небольшом разборе вода начинает остывать в трубах.

Но есть и плюсы: поскольку используются сразу несколько теплоисточников, то случае повреждения на трубопроводе система проявляет живучесть, то есть полной остановки циркуляции не происходит, потребителей длительное время удерживают на затухающей схеме.

При открытой системе весь теплоноситель проходит обязательную водоподготовку на теплоисточнике. Тем не менее, теплоноситель должен соответствовать санитарным нормам, предъявляемым к «питьевой воде». В отсутствие водоподготовки жесткая вода способна вывести из строя целую котельную за считанные месяцы.

На водоподготовку тратятся реагенты, электроэнергия для подачи воды, проводятся регламентные работы по обслуживанию фильтров, расходуются средства на текущую эксплуатацию и ремонт оборудования. Одним из главных различий между системами является тот факт, что минимальная температура теплоносителя открытой системы принимается 60 ^{O}C, однако для закрытых систем требуемая минимальная температура составляет 55 ^{O}C. Как итог, возникает экономия топлива закрытой системы по сравнению с открытой.

Более перспективна подготовка горячей воды в условиях ИТП (индивидуальных тепловых пунктов). В теплообменнике закрытой системы горячая вода представляет собой подогретую холодную воду, направленную к потребителю. Отработанный теплоноситель (с пониженной температурой на выходе из теплообменника) добавляется в новый теплоноситель и эта «техническая» вода идет на отопление по зависимой или независимой схеме. Как и для централизованного теплоисточника, для ИТП так же характерна проблема- холодную воду требуется подготавливать. Ведь если вода обладает повышенной жесткостью, то при ее нагреве в теплообменнике будет происходить интенсивное образование трудноудаляемой накипи.

Так же, главный минус закрытой системы - необходимость замены водопроводных сетей. На сегодняшний день износ этих сетей достаточно велик и многие участки за последние 5-6 лет подверглись санации (заменой полиэтиленовыми трубами), как итог, диаметр их

уменьшился. Перед водоканалами встает вопрос - при переходе на закрытую систему необходимо увеличить пропускную способность водопроводных сетей почти в два раза. Учитывая выше упомянутые обстоятельства менять придется большой объем трубопроводов.

Попытки перевода существующего жилищного фонда с открытой системы на закрытую показали необходимость значительных капитальных затрат и экономически не оправдываются (рис. 1). Единственным наглядным положительным результатом перевода открытой системы теплоснабжения на закрытую является улучшение качества горячей воды. Однако, во-первых, всегда есть вероятность возникновения дефектов теплообменника и попадания неподготовленного теплоносителя в нагреваемую воду, во-вторых, население уже в массе отказалось от употребления в пищу холодной воды и переходит на воду бутилированную.

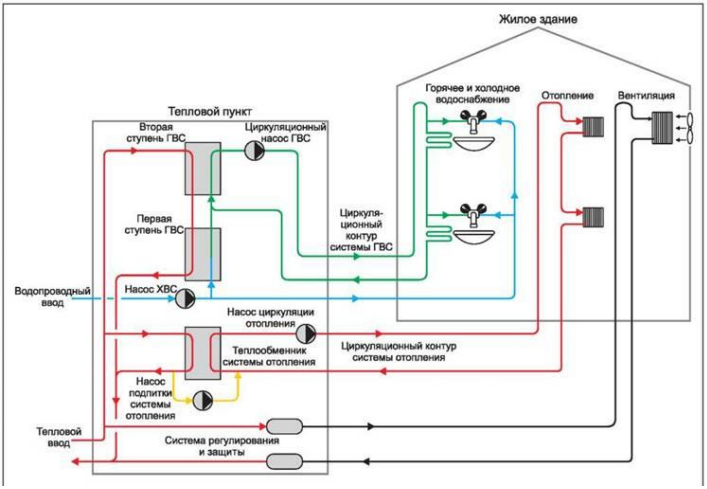


Рис. 1. Принципиальная схема ТП с закрытой системой горячего водоснабжения и независимой схемой присоединения системы отопления.

В то же время экономически выгодным является комплексное решение, включающее одновременный переход на независимую схему присоединения системы отопления с установкой автоматических регуляторов, т.е. реконструкция аналогичная реконструкции закрытой системы теплоснабжения, вследствие которой последует увеличение расхода сетевой воды на отопление и уменьшением расхода сетевой воды на ГВС. Такая реконструкция по разным оценкам позволит снизить затраты на теплоснабжение на 20-25%. Переход на

независимое присоединение системы отопления приведет к улучшению качества горячей воды, т.к. от системы теплоснабжения будут отключены системы отопления зданий, которые являются наиболее загрязненными контурами.

В федеральном законодательстве указан срок, но конкретных этапов и источников финансирования реализации перехода к закрытой схеме ГВС нет. И как итог, приведение в соответствие закону, системы ГВС, к 2021 году не состоится.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. Федеральный закон от 27 июля 2010 года № 190-ФЗ «О теплоснабжении».
2. Федеральный закон Российской Федерации от 7декабря 2011 г. № 417-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О водоснабжении и водоотведении».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 г. № 642 «Правила горячего водоснабжения».
4. СНиП 41-02-2003 «ТЕПЛОВЫЕСЕТИ».
5. Типовые мероприятия по энергосбережению [Электронный ресурс]. – URL: www.ais-grp.ru/activity/?id=163.
6. Модернизация коммунальной инфраструктуры [Электронный ресурс]. – URL: фонджкх.рф/data/2012/10/24/1234646250/03-09%20гун.ppt?.

Н.В. Лучихин, Е.В. Кошелева
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ И ВЫБОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теплоизоляционные материалы существенно улучшают комфорт в жилых помещениях. Важнейшей целью теплоизоляции строительных конструкций является сокращение расхода энергии на отопление здания. В связи с ускорившимся ростом цен на энергоносители едва ли не главную ценность приобрели вопросы повышения энергоэффективности как жилых, так и производственных

сооружений. Существенная роль в решении проблемы энергосбережения принадлежит высокоэффективной промышленной тепловой изоляции.

Системы теплоизоляции направлены на то, чтобы свести на нет возможный ущерб окружающей среде и здоровью человека. К тому же современные теплоизоляционные технологии и материалы подразумевают сокращение теплопотерь, что имеет главной целью существенное уменьшение потребления топлива, а это, в свою очередь, должно вести так или иначе к заметному сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу. Внедрение новейших технологий и производство современных материалов теплоизоляции позволяет многократно сэкономить денежные средства на отопление (либо кондиционирование) разного рода зданий и сооружений.

Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования определяет техническую возможность и экономическую эффективность реализации технологических процессов и широко применяется в энергетике, ЖКХ, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности.

В энергетике объектами тепловой изоляции являются паровые котлы, паровые и газовые турбины, теплообменники, баки-аккумуляторы горячей воды, дымовые трубы.

В промышленности тепловой изоляции подлежат вертикальные и горизонтальные технологические аппараты, насосы, теплообменники, резервуары для хранения воды, нефти и нефтепродуктов. Особенно высокие требования предъявляются к эффективности тепловой изоляции низкотемпературного и криогенного оборудования.

Тепловая изоляция обеспечивает возможность проведения технологических процессов при заданных параметрах, позволяет создать безопасные условия труда на производстве, снижает потери легко испаряющихся нефтепродуктов в резервуарах, дает возможность хранить сжиженные и природные газы в изотермических хранилищах.

При монтаже и в процессе эксплуатации теплоизоляционные конструкции подвергаются температурным, влажностным, механическим, в том числе вибрационным, воздействиям, которые определяют перечень предъявляемых к ним требований.

Поэтому, к основным требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным материалам и конструкциям, относят следующие:

- теплотехническая эффективность;
- эксплуатационная надежность и долговечность;
- пожарная и экологическая безопасность.

Основными показателями, характеризующими физико-технические и эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, являются: плотность, теплопроводность, температуростойкость, сжимаемость и упругость (для мягких материалов), прочность на сжатие при 10 % деформации (для жестких и полужестких материалов), вибростойкость, формостабильность, горючесть, водостойкость и стойкость к воздействию химически агрессивных сред, содержание органических веществ и биостойкость.

Теплотехническая эффективность конструкций промышленной тепловой изоляции определяется в первую очередь коэффициентом теплопроводности теплоизоляционного материала, который определяет требуемую толщину теплоизоляционного слоя, а, следовательно, и нагрузки на изолируемый объект, конструктивные и монтажные характеристики конструкции. Расчетные значения коэффициента теплопроводности принимаются с учетом его зависимости от температуры, степени уплотнения теплоизоляционных материалов в конструкции, шовности конструкции, наличия крепежных деталей. Долговечность теплоизоляционных конструкций зависит от их конструктивных особенностей и условий эксплуатации, включающих месторасположение изолируемого объекта, режим работы оборудования, степень агрессивности окружающей среды, интенсивность механических воздействий. Срок службы теплоизоляционного материала и теплоизоляционной конструкции в целом в значительной степени определяется качеством защитного покрытия.

На сегодняшний день на российском рынке теплоизоляционных материалов представлена продукция как отечественных, так и зарубежных производителей.

Номенклатура отечественных волокнистых теплоизоляционных материалов, предназначенных для тепловой изоляции оборудования, представлена традиционно применяемыми матами минераловатными прошивными безобкладочными или в обкладках из металлической сетки, стеклоткани или крафт-бумаги с одной или двух сторон (ГОСТ 21880-94, ТУ 36.16.22-10-89, ТУ 34.26.10579-95 и др.), изделиями минераловатными с гофрированной структурой для промышленной тепловой изоляции (ТУ 36.16.22-8-91), плитами теплоизоляционными минераловатными на синтетическом связующем плотностью 50-125 кг/м^3 (ГОСТ 9573-96), изделиями из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499-95). В небольшом объеме выпускаются изделия из супертонкого стеклянного и базальтового волокна с применением различных связующих и без них (ТУ 21-

5328981-05-92, ТУ 95.2348-92, ТУ 5761-086011387634-95 и др.). Лидерами в производстве волокнистых теплоизоляционных материалов для промышленного оборудования и трубопроводов являются заводы ОАО «Термостепс», ЗАО «Минеральная вата» (г. Железнодорожный), Назаровский ЗТИ, ЗАО «Сан-Гобэн Изовер» (г. Егорьевск), ОАО «УРСА-Евразия» (г. Чудово, Серпухов) и др.

Продукция зарубежных производителей для изоляции трубопроводов и оборудования представлена широкой номенклатурой волокнистых теплоизоляционных материалов фирм: «Rockwool» (Дания), «Сан-Гобэн Изовер» (Финляндия), «Partek», «Paroc» (Финляндия), «Izomat» (Словакия) (цилиндры, маты и плиты без покрытия или покрытые с одной стороны металлической сеткой, стеклорогожей, алюминиевой фольгой и т. д.).

Возрастают объемы применения высокоэффективных теплоизоляционных цилиндров из минерального (ЗАО «Минеральная вата», Назаровский ЗТИ, «Paroc») и стеклянного волокна («Сан-Гобэн Изовер», «УРСА») отечественного и зарубежного производства.

Из пенопластов наибольшее применение в конструкциях тепловой изоляции оборудования, преимущественно низкотемпературного, находит пенополиуретан заливочный, напыляемый и в виде плитных изделий. Его отечественным разработчиком является научно-исследовательский институт синтетических смол (г. Владимир), а также образовавшиеся на его основе предприятия (ЗАО «Изолан» и др).

Для изоляции трубопроводов и оборудования с положительными и отрицательными температурами применяются изделия из вспененного синтетического каучука, поставляемые на отечественный рынок фирмами «Армаселл» и «L'ISOLANTE K-FLEX». Материалы производятся в виде изоляционных цилиндров (трубок) или эластичных листовых и плитных изделий. Материалы из вспененного каучука характеризуются преимущественно закрытой пористостью и температурой применения от -70 до 150 °С.

Эффективным материалом для изоляции оборудования и резервуаров является пеностекло «Foamglas» бельгийской фирмы «Pittsburgh Corning» - формованный материал (плиты, сегменты) с закрытыми порами, негорючий, с температурой применения от -260 до 485 °С и высокими прочностными свойствами.

Находят применение в промышленности теплоотражающие покрытия «Термо-Коат» и «Термо-Шилд», используемые для снижения интенсивности радиационного теплообмена резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов и элементов оборудования с

окружающей средой. Следует отметить, что указанные покрытия не заменяют тепловую изоляцию, а используются в качестве дополнительного элемента в теплоизоляционных конструкциях для повышения их теплоотражающих характеристик.

При канальной прокладке трубопроводов тепловых сетей используют преимущественно теплоизоляционные маты, мягкие плиты и высокоэффективные цилиндры из минеральной ваты и стеклянного волокна.

Для трубопроводов тепловых сетей подземной бесканальной прокладки применяют преимущественно предварительно изолированные в заводских условиях трубы с гидроизоляционным покрытием, исключающим возможность увлажнения изоляции в процессе эксплуатации. В качестве основного теплоизоляционного слоя в конструкциях теплоизолированных трубопроводов бесканальной прокладки (СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» и СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов») рекомендованы к применению армопенобетон, пенополиуретан и пенополимерминерал.

На сегодняшний день в некоторых регионах существует тенденция к массовому переходу на применение труб с ППУ-изоляцией, основанная на практике стран Европы (Бельгии, Дании и др.). К преимуществам теплопроводов с ППУ-изоляцией относят низкий коэффициент теплопроводности пенополиуретана (0,032-0,035 Вт/(м* °С)), технологичность при изготовлении и при монтаже теплопроводов, долговечность при соблюдении требований монтажа и эксплуатации. Однако при использовании труб с ППУ-изоляцией следует учитывать, что допустимая температура применения пенополиуретана составляет 130 °С. Повышение температуростойкости теплоизоляционных конструкций с применением пенополиуретана может достигаться путем использования двухслойной изоляции с термостойким внутренним слоем из минеральной ваты или стеклянного волокна и наружным слоем из пенополиуретана.

Представляется, что наряду с внедрением труб с ППУ-изоляцией следует расширять производство и применение труб с изоляцией из современного армопенобетона и пенополимерминерала.

Армопенобетон характеризуется низкой плотностью (200-250 кг/м^3) и теплопроводностью (0,05 Вт/(м* °С)) при высокой прочности на сжатие (не менее 0,7 МПа). К преимуществам армопенобетона относятся его негорючесть, высокая температура применения (до 300 °С), отсутствие коррозионного воздействия на стальные трубы,

паропроницаемость гидгозащитного покрытия и, как следствие, долговечность. Опыт его применения в тепловых сетях Северо-Западного региона имеет положительные результаты.

Пенополимерминерал (полимербетон) разработан институтом ВНИПИЭнергопром и более 20 лет применяется в конструкциях тепловой изоляции трубопроводов диаметром до 500 мм. Характеризуется интегральной структурой, совмещающей функции теплоизоляционного слоя и гидроизоляционного покрытия. Имеет температуру применения до 150 °С, теплопроводность при 25 °С - 0,047 Вт/(м*°С), при испытаниях на горючесть по ГОСТ 30244-94 относится к группе Г1.

Технические решения промышленной тепловой изоляции многообразны как по видам применяемых материалов, так и по конструкциям.

Так для тепловой изоляции вертикальных и горизонтальных технологических аппаратов и теплообменников применяются конструкции на основе волокнистых теплоизоляционных материалов с применением приварных штырей или проволочного каркаса.

Для горизонтальных аппаратов (емкостей, теплообменников и др.) преимущественно предусматривается крепление теплоизоляционного слоя на проволочном каркасе.

Подытожив все вышесказанное можно сказать, что существует масса важных моментов и нюансов по обработке и защите трубопровода. В любой ситуации всегда лучше начать с просчета потребного утеплителя, выбора его типа, толщины и стоимости. Не последнюю роль играет и вариант его монтажа, поскольку самые проблемные условия потребуют дополнительных существенных денежных вливаний в строительство необходимых систем.

Совершенный подход к выбору теплоизоляции, в конечном итоге, может привести к минимальным затратам и снижению сложности выполняемых работ. Качественный подбор потребных утепляющих компонентов позволит эффективно сохранить температуру теплоносителя в трубах, а также значительно увеличить их срок эксплуатации.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения. - Москва.: Форум, 2010. - 352 с.

2. Рахимов Р.З., Шелихов Н.С. Современные теплоизоляционные материалы: Учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2006. – 392 с.

3. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. - Москва.: Инфра-М, 2003. - 268 с.

4. Строительные нормы и правила: Тепловая защита зданий: СНиП 23-02-2003: введ. 01.10.2003. - М: ГУП ЦПП, 2003.-27 с.

5. Строительные нормы и правила: Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 41-01-2003: введ. 01.01.2003. - М: ГУП ЦПП, 2003.-49 с. .Строительные нормы и правила: Строительная теплотехника: СНиП II-3-79*: введ. 01.07.1986. - М: ГУП ЦПП, 1998.-29 с.

6. Тепловая изоляция [Электронный ресурс]. – URL: http://www.technoserv-r.ru/ar5.php

В.В. Махортов
Братский государственный университет, Братск
maxortov83@bk.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ

Теплофикационные системы большинства российских городов характеризуются сегодня следующими особенностями:
- оборудование ТЭЦ и тепловых сетей имеет высокую степень износа;
- часть ТЭЦ фактически являются крупными котельными с небольшой электрогенерацией.

Многие крупные промышленные потребители отключились от централизованных систем теплоснабжения, либо резко сократили свое теплопотребление. В сложившихся жилых районах, несмотря на уплотнительную застройку, теплопотребление также снижается.

На рынке электрической энергии ТЭЦ, в части теплофикационного режима, работают по схеме ценопринимания (стоимость электроэнергии определяется не по заявке генератора, а по сложившейся на рынке в данный период).

В городах наблюдается максимальная суточная неравномерность электропотребления, а паротурбинные ТЭЦ, особенно не имеющие пиковых котлов, плохо приспособлены к регулированию (необходимо обеспечивать через турбину пропуск пара достаточный для обеспечения тепловой нагрузки). ТЭЦ чаще всего ссылаются на технологические

ограничения, мешающие выполнить команду Системного оператора и снизить нагрузку в период ночного провала потребления электрической мощности.

В электроэнергетике введена рыночная модель ценообразования, а в теплоснабжении сохранено государственное регулирование тарифов. Обе стороны считают, что противоположная сторона решает свои задачи за счет неё.

В логике электроэнергетиков, раз закрытие ТЭЦ повышает цену тепловой энергии, значит, существует перекрестное субсидирование последней за счет электроэнергии и виноваты в этом органы госрегулирования тарифов. В то же время основные экономические проблемы ТЭЦ проявляются как раз при снижении тепловой нагрузки и соответствующем повышении себестоимости электроэнергии.

Для российских ТЭЦ характерна несбалансированность мощности и структуры оборудования с потребностью на тепловом и электрическом рынках.

Системам теплофикации необходима серьезная модернизация. Разрабатываемые сегодня изменения в модели рынков тепловой и электрической энергии и в методологии планирования энергетического развития должны создать правильные стимулы участникам рынка для создания надежных, сбалансированных по всем видам энергоресурсов, маневренных и экономичных систем.

В последние годы внимание было в основном сконцентрировано на реформе электроэнергетики. Принимаемые в ходе реформирования отрасли нормативные документы не учитывали тенденций развития теплоэнергетики и особенностей комбинированного производства тепла и электроэнергии на ТЭС. По сути, теплоснабжение не принимали в расчет как самостоятельный сектор, а созданию стимулов к энергоэффективности уделялось гораздо меньше внимания, чем этот вопрос заслуживал. В итоге в России наблюдается переход от централизованного комбинированного потребления тепловой и электрической энергии ТЭС на раздельное: теплоснабжение от котельных и электроснабжение от ГРЭС и ТЭЦ, работающих в конденсационном режиме.

Энергосистема Восточной Сибири всегда была избыточной. Сегодня же дополнительные мощности Красноярской и Богучанской ГЭС приводят к естественному снижению генерации на ТЭС. Существующие правила и регламенты оптового рынка энергии и мощности (ОРЭМ) являются препятствием для развития более экономичного способа генерации энергии — комбинированного цикла выработки тепловой и электрической энергии. Совмещение функций

генерации тепла и электроэнергии значительно повышает КПД ТЭЦ и позволяет увеличить эффективность использования оборудования. Для производства одного и того же количества тепла и энергии на ТЭЦ, работающей в комбинированном режиме, необходимо на четверть меньше угля, чем для производства такого же объема тепла и энергии на котельной или ГРЭС.

В России тепловые мощности ТЭЦ загружены не более чем на 30–35% установленной мощности. В итоге, хотя объем производства и потребления тепловой энергии в России самый большой в мире, доля тепла, производимого в режиме комбинированной выработки тепла и электроэнергии, в 2,3 раза меньше, чем в странах, имеющих близкий к России климат. «Сегодня именно теплогенерация находится в наиболее плачевном состоянии.

В Иркутской области, с точки зрения электрогенерации, в связи с вводом Богучанской ГЭС и оставшимися обязательствами по договору о предоставлении мощности многих энергокомпаний Сибири, балансовая ситуация будет показывать избыточность генерирующих мощностей над потреблением ближайшие пять–семь лет, что наложит определенный отпечаток на работу тепловых электростанций.

ТЭЦ обслуживающие моногорода попадают в еще более сложные условия. Такие, как Усть–Илимская ТЭЦ (У-ИТЭЦ) на северо-западе области, которая проектировалась как поставщик тепловой энергии для города и производственного пара для Усть-Илимского лесопромышленного комплекса (У-И ЛПК).

В настоящее время, располагая огромными объемами пригодных для сжигания отходов, производители целлюлозы начали вырабатывать собственную тепловую и электрическую энергию. Сжигая отходы в котлах, У-И ЛПК получает дешевую тепловую энергию. А в ближайшем будущем, по заявлениям собственника ЛПК — Группы «Илим», здесь установят генерирующее оборудование, что позволит лесопромышленникам сократить закупки электрической энергии на стороне.

В сложившейся ситуации переизбытка электрической энергии и кризиса теплового потребления необходимо найти на У-ИТЭЦ такие режимные стратегии, которые позволят осуществлять более экономичную работу ТЭЦ в условиях пониженной электрической нагрузки с сохранением необходимой тепловой мощности станции.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Сибирский Энергетик № 510 от 30 марта 2018 г. – Издание ПАО «Иркутскэнерго» Год: 2018.
2. Теплофикация и тепловые сети Автор: Соколов Е.Я. Издательство МЭИ Год: 2001

П.В. Медведев, Е.А. Слобода
Братский государственный университет, Братск
Medvedev-petia2013@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНОЙ ШОВНОЙ СВАРКИ ОРЕБРЕНИЯ КАЛОРИФЕРОВ

Главной целью теплообменника является передача тепла от носителя (вещества с высоким показателем температуры) до холодного объекта. Примером теплоносителя может являться газ, жидкость и пар. Сегодня на прилавках магазинах можно наблюдать большое разнообразие теплообменников. Каждый из них имеет свои особенности: принцип действия, внешний вид, разные показатели температуры и т. д.

Современный теплообменник может работать по трём основным процессам:

- конвекция;
- тепловое излучение;
- теплопроводность.

Классификация приборов происходит по тому, каким из способов тепло поставляется к холодному объекту, а именно:

- смесительный способ;
- теплообменный способ.

В их принципе работы, устройстве и виде заключается основная разница. Именно потому важно, прежде чем совершить покупку теплообменника, изучить все имеющиеся виды в продаже. Лучшим вариантом описания принципа действия изделия является пример с поверхностными агрегатами. Они считаются одними из самых распространённых конструкций среди пользователей. Внутри этого прибора сосредоточены чувствительные элементы, которые нагреваются, передавая тепло холодному объекту.

Если взять смесительный агрегат, то он совмещает в себе взаимодействие воздуха и жидкости, выдавая в итоговом результате

высокий уровень коэффициента полезного действия. Тем самым — это устройство становится лёгким по изготовлению, с высокой скоростью получения нужного результата. Только при смешивании двух различных сред можно достичь подобных результатов.

Каждый теплообменник имеет и набор устройств, которые работают по особому принципу. Их разделяют на два вида:

- рекуперативные;
- регенеративные.

В первом виде подразумевается использование двух разных жидкостей. Они взаимодействуют между собой с помощью разделительной стенки. В процессе обмена температурами, поток в обоих вариантах остаётся прежним и не изменяется. Во втором виде теплообменников прослеживается наличие рабочего элемента, который в то же время является и источником поставляемого тепла и своеобразным зарядным устройством. При контакте с жидкостями, элемент нагревается, издавая в пространство необходимое тепло. В этом случае, поток тепла может изменить своё направление.

Виды теплообменников.

На сегодняшний день имеется несколько видов теплообменников:

- погружные;
- пластинчатые;
- элементные;
- витые;
- графитовые;
- спиральные;
- двухтрубные;
- кожухотрубные.

Канальный нагреватель (или калори́фер) — прибор для нагревания воздуха в помещении, состоящий из труб, по которым циркулирует горячая вода, пар или горячий воздух. По принципу передачи тепловой энергии различают электрические и водяные (подключается к системе центрального отопления) канальные нагреватели. В зависимости от конфигурации и сечения вентиляционной системы используют воздухонагреватели прямоугольной и круглой формы.

Электрические воздухонагреватели состоят из ряда металлических нитей накаливания или проволочной спирали. Они создают электрическое сопротивление, которое преобразует энергию в тепло. Преимущества электрических воздухонагревателей следующие: они имеют небольшой перепад давления, для них легко рассчитывается мощность, и они недорогие в установке. Недостатком

является то, что металлические нити накаливания имеют значительную инерцию, а потому электрические воздухонагреватели должны снабжаться защитой от перегрева. Кроме этого, затраты на электроэнергию при использовании электрических воздухонагревателей втрое превышают затраты на тепло в виде перегретой воды.

Водяные воздухонагреватели с поперечным течением являются наиболее распространенным типом воздухонагревателей, используемых в вентиляционных установках. Вода движется под прямым углом и в противоположном направлении по отношению к воздушному потоку. Вода направляется снизу и протекает по калориферу вверх, и это позволяет воздушным пузырькам собираться в верхней точке, откуда они легко выводятся через воздушные краны. При эксплуатации в широтах, где температура наружного воздуха опускается ниже 0°С, водяные воздухонагреватели должны иметь защиту от замерзания, иначе вода при замерзании может разорвать трубки. [1]

Оребренные трубы (рис. 1), являются составной частью калориферов, и состоят из трубки 1 и шести ребер 2 изготовленных из ВСт3сп ГОСТ 503-81.

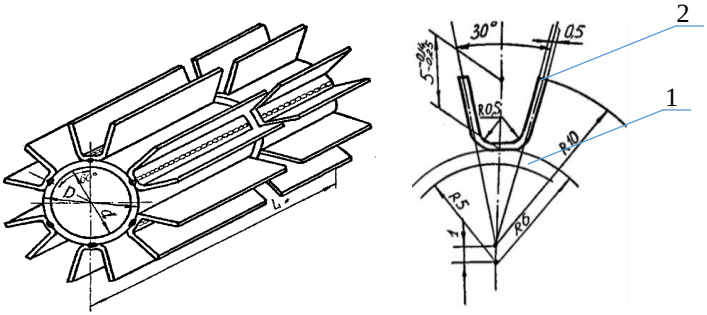


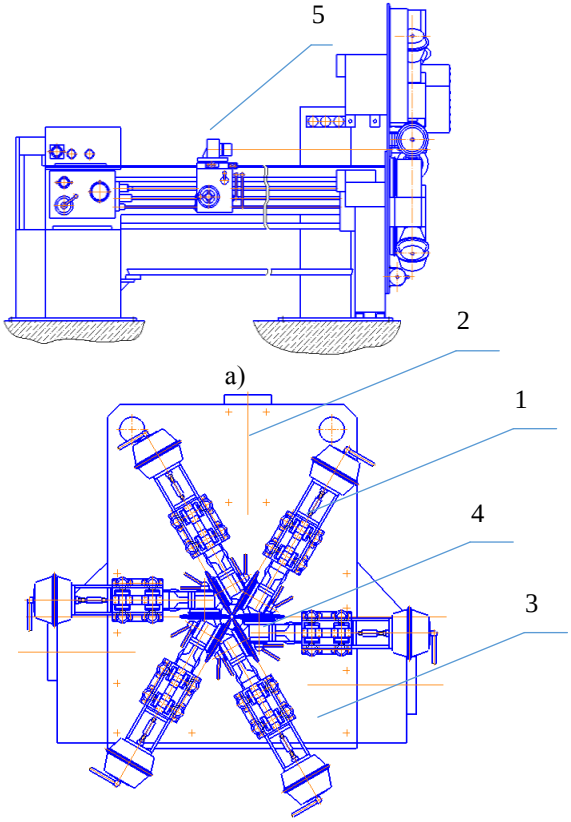
Рис.1. Оребренная труба.
1 – трубка; 2 – ребро.

Приварка ребер к трубке осуществляется контактной шовной сваркой на специализированной установке (рис. 2). Установка 3 состоит из шести головок 1 контактной шовной сварки смонтированных на плите 2.

Технологический процесс приварки ребер, включает в себя следующие операции:

- трубку с шестью ребрами помещаем в центратор 5 и подводим к роликам 4 головок 1.

- нажимаем на педаль, головки 1 опускаются и прижимают роликами 4 ребра к трубке. Второй раз нажимаем на педаль, включается привод вращения роликов 4 и электрический ток, начинается процесс приварки ребер к трубке. Третий раз нажимаем на педаль, электрический ток выключается, ролики 4 поднимаются.



а)

б)

Рис. 2. Специализированная установка для контактной шовной сварки.
а) 5 – центратор;
б) 1 – сварочная головка; 2 – плита; 3 – установка; 4 – ролик.

Установку основных параметров режима сварки производим в следующей последовательности [2]:

а) на блоке управления (Астра) устанавливаем рекомендованные позиции времени сварки и паузы (точки при сварке должны перекрывать друг друга);

б) включаем электропневмоклапан, а затем открываем доступ воздуха по средствам воздушного редуктора;

в) медленно повышаем давление воздуха в рабочих камерах диафрагм, до момента, когда сварочные электроды начнут перемещаться из исходного состояния в зону сварки.

г) включаем механизм скорости сварки, а затем сварочный ток одного блока сварки следует ожидать, что про плавление деталей будет не достаточным, процесс идет устойчиво, выплески отсутствуют. Постепенно увеличиваем сварочный ток ручкой фазорегулятора добиваясь необходимого проплавления деталей. Затем регулируем остальные пары блоков и в целом производим сварку.

В результате испытаний для приварки ребер к трубке были подобраны оптимальные режимы сварки: ток сварки Iсв=12500 А; время на сварку одной точки tсв=0,05 с; скорость сварки Vсв=0,5 см/с.

Выводы:

- высокая производительность процесса сварки (время сварки одной точки 0,05 с, скорость сварки 0,5 см/с) позволяет приваривать сразу все шесть ребер, что сокращает время на изготовление изделия;

- процесс сварки идет практически автоматизировано, обеспечивается высокое качество и надежность сварных соединений, не требуется высокая квалификация сварщика;

- во время процесса сварки не выделяется вредных веществ в атмосферу воздуха, что повышает экологичность процесса.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Устройство и изготовление вентиляционных систем: Учеб. для СПТУ. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1987. - 304 с.: ил.

2. Технология и оборудование контактной сварки: Учебник Т38 для машиностроительных вузов / Б. Д. Орлов, А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др.; Под общей редакцией Б. Д. Орлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

3. Овчинников В. В.О-355 Технология и оборудование контактной сварки: Лабораторно-практические работы: учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 160 с.

4. В.В. Смирнов Оборудование для контактной сварки 2000.

П.В. Медведев, В.В. Махортов
Братский государственный университет, г. Братск
Medvedev-petia2013@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППОРАТОВ

Широкое распространение явлений теплообмена в энергетике, промышленности, на транспорте, а также в процессах взаимодействия с окружающей средой потребовало разработки большого количества новых конструкций теплообменных аппаратов, которые в каждом конкретном случае должны обеспечивать оптимальное сочетание тепловой эффективности, удобства эксплуатации, по возможности малых капиталовложений и эксплуатационных расходов.

Теплообмен - учение о самопроизвольном необратимо протекающем процессе распространения теплоты в пространстве. Процессы теплообмена сопровождаются химическими реакциями и физическими превращениями (нагревание, охлаждение, кипение, конденсация и др.). Процессы теплообмена делятся на: теплопроводность, конвекцию, излучение.

Теплообменными аппаратами называют устройства, предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому, а также для осуществления различных технологических процессов: нагревание, охлаждение, кипение, конденсация и др.

Теплообменные аппараты бывают различных типов:

-контактного типа (смесительные аппараты);

-поверхностного типа.

В контактных аппаратах теплообмен осуществляется при непосредственном соприкосновении теплоносителей и, как правило, сопровождается переносом массы. Поверхность твердой стенки или границы раздела контактирующих сред, через которую осуществляется теплообмен, называется поверхностью теплообмена или поверхностью нагрева, а если теплообмен сопровождается передачей масс,- поверхностью тепломассообмена.

В теплообменных аппаратах поверхностного типа теплообмен идет через разделительную стенку и, теплоносители не смешиваются (рекуперативные аппараты). Данные аппараты нашли широкое применение в теплоэнергетике для нагрева (охлаждения) воды (пара) в испарителях и конденсаторах (рис.1). Так же используются для теплообмена двух жидкостей в теплообменниках типа «труба в трубе», данные теплообменные аппараты имеют поверхности нагрева от

нескольких квадратных сантиметров до нескольких сотен квадратных метров.

Основные требования, предъявляемые к конструкциям теплообменных аппаратов:

- строгое обеспечение заданного технологического режима;
- обеспечение высокой удельной плотности теплового потока;
- высокая экономичность;
- наименьшее гидравлическое сопротивление, компактность;
- надежность и безопасность эксплуатации;
- герметичность в сочетании с разборностью и доступностью поверхности теплообмена для механической очистки ее от загрязнения;
- удобство монтажа, ремонта, обслуживания.

Поверхностные теплообменные аппараты делят на рекуперативные и регенеративные.

Рекуперативные – аппараты, в которых теплообмен идет через разделительные стенки.

Регенеративные – аппараты, в которых два или более теплоносителей поочередно соприкасаются с насадкой, причем тепловой поток меняет свое направление на противоположное.

По конструкционному оформлению теплообменные аппараты бывают: трубчатые, змеевиковые, оросительные, секционные, ребристые, пластинчатые, спиральные.

По виду теплоносителей теплообменные аппараты бывают водо-водяные, пароводяные, газо-воздушные, газо-мазутные.

Теплообменные аппараты бывают одноходовыми и многоходовыми (рис.1).

Многоходовые теплообменные аппараты изготавливают для увеличения поверхности теплообмена при меньших габаритах, обеспечивая большую компактность.

Так же теплообменные аппараты бывают прямоточные, противоточные и перекрестные в зависимости от движения теплоносителей в них. Лучшие результаты с точки зрения снижения поверхности нагрева дает противоточное движение, поэтому во всех теплообменных аппаратах, где это возможно, создают противоток движения теплоносителей.

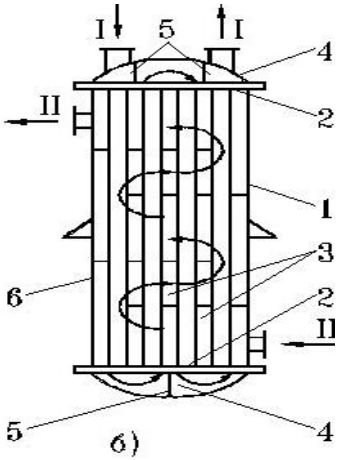


Рис. 1. Кожухотрубчатый рекуперативный аппарат.
1 - корпус; 2 - трубные решетки; 3 - трубы; 4 - крышки;
5 - перегородки в крышках;
6 - перегородки в межтрубном пространстве

Научный руководитель: д.т.н. профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Тепломассообмен. Проектирование поверхностного кожухотрубного теплообменника: Учебно-методическое пособие / В.Н. Федяева, А.А. Федяев, С.В. Белокобыльский. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2004. – 124 с.

2 Промышленные тепломассообменные процессы и установки: Учебник для вузов / А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.Л. Данилов и др.; Под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоавтомиздат, 1986

3 Промышленая теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. Ред. В.А. Григорьева и В.А. Зорина. – М.: Энергоавтомиздат, 1991

4 Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневиц, В. М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989

И.А. Михайлов
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС

Трубопроводы I-IV категории на тепловых электростанциях (ТЭС) после выработки паркового или индивидуального ресурса подлежат диагностике. Срок службы трубопровода устанавливается организацией-изготовителем и указывается в паспорте трубопровода.

Комплексный подход при решении поставленной задачи должен предусматривать выполнение следующих мероприятий:

- совершенствование эксплуатационной диагностики трубопроводов;
- совершенствование сварочно-термической технологии ремонта и восстановления работоспособности сварных и бесшовных элементов трубопроводов;
- улучшения конструкции сварных соединений;
- улучшение условий эксплуатации трубопроводов;
- совершенствование сварочно-термической технологии с применением новых методов сварки и нагревательных устройств термообработки сварных соединений трубопроводов в периоды монтажа, реконструкции и ремонта;
- совершенствование методов расчетов на прочность сварных соединений трубопроводов;
- совершенствование методов контроля и критериев оценки качества сварных соединений трубопроводов;
- применение жаропрочных материалов с улучшенными характеристиками.

Совершенствование методов неразрушающего контроля для выявления технологических дефектов в сварных соединениях трубопроводов развивается в направлении повышения их достоверности. Сравнение достоверности двух основных универсальных методов контроля для типовых технологических дефектов приведено в таблице 2.

Радиографическому контролю (РК) могут быть подвергнуты сварные соединения трубопроводов наружным диаметром до 1220 мм включительно и с номинальной толщиной стенки до 50 мм включительно. Специальной подготовки поверхности сварного шва (СШ) перед проведением радиографического контроля не требуется.

Таблица 2 – Сравнение достоверности двух основных универсальных методов контроля

Дефект	Зона контроля	Достоверность, %	
		Ультразвуковой контроль	Радиационный контроль
Газовые поры	МШ	меньше 20	90-100
Шлаковые включения	МШ, ЗС	40-60	90-100
Непровар	ЗС	40-60	60-80
Послойное наплавление	МШ	-	меньше 40
Горячие трещины	МШ	60-80	-
Холодные трещины	МШ, ЗТВ	60-80	-
Трещины термообработки	ОЗ, МШ	20-40	-

Примечание: МШ – материал шва, ЗС – зона сплавления, ОЗ - околошовная зона, ЗТВ – зона термического влияния

При строительстве, реконструкции и капитальном ремонте трубопроводов по результатам НК все сварные соединения подразделяют на две категории, обозначаемые как «Годен» и «Не годен». К категории «Годен» относят сварные соединения, в которых дефекты не выявлены вообще или выявлены только дефекты, удовлетворяющие требованиям допустимости.

В практике РК СШ трубопроводов на сегодняшний день существуют две схемы просвечивания СШ: панорамная и фронтальная.

При панорамной схеме для просвечивания используют самоходные внутритрубные кроулеры, которые устанавливают внутрь трубы и перемещают от стыка к стыку, доставляя смонтированный на его базе рентгеновский аппарат и производя экспозицию. При такой схеме просвечивания СШ обеспечивается более высокая производительность РК по сравнению с фронтальной схемой просвечивания. Однако при использовании кроулеров предъявляются высокие требования к внутренней поверхности трубы (отсутствие препятствий, посторонних предметов, воды или наледи и т.д). Кроулеры применяются для контроля участков трубы ограниченной длины из-за ограниченной емкости аккумуляторных батарей и

невозможности их передвижения на участках трубопровода, проложенных под углом к горизонту, превышающим 20–30°.

Фронтальная схема просвечивания СШ применяется для тех стыков, доступ к которым изнутри трубы невозможен. Данная схема просвечивания через две стенки трубы выполняется за три и более установки источника ионизирующего излучения (ИИ), что увеличивает время проведения контроля и требований к контролю такого рода сварных соединений.

В российской промышленности в качестве детекторов при РК применяют рентгеновскую пленку или многоразовые запоминающие пластины. К недостаткам РК при использовании радиографической пленки можно отнести необходимость наличия помещений для проведения операций по фотохимической обработке пленки и операций по зарядке кассет, необходимость хранения пленки в твердой копии в специальных помещениях, высокую стоимость РК.

Радиографический контроль трубопроводов ТЭС выполняется переносными средствами контроля, например рентгеновскими аппаратами ПИОН-2М и АРИНА-9:

Импульсный рентгеновский аппарат ПИОН-2М предназначен для радиографического контроля сварных соединений и других металлоконструкций. Небольшой вес и габариты аппарата, а так же достаточно большая толщина просвечиваемого металла, делают его удобным для рентгеновского контроля в производственных условиях. Технические характеристики аппарата позволяют контролировать сварные швы трубопроводов как фронтально, так и панорамно. Просвечиваемая толщина стали с использованием флуоресцентных усиливающих экранов составляет 32 мм при. максимальном анодном напряжении 150 кВ. Время автономной работы аккумулятора 0,9 ч.

Рентгеновский аппарат АРИНА-9 предназначен для контроля толстостенных стальных изделий. Аппарат работает на принципе взрывной электронной эмиссии в рентгеновской трубке с холодным катодом. Эффективно использование при просвечивании толстостенных труб больших диаметров. Просвечиваемая толщина стали - до 45 мм. Максимальное анодное напряжение - 300 кВ.

Среди инновационных разработок нового технологического уровня в области промышленной радиографии следует отметить разработку компании Дженерал Электрик – беспроводной цифровой детектор DXR 250C-W. Детектор создан для работы в промышленных условиях при реализации панорамной и фронтальной схем просвечивания СШ, с возможностью передачи результатов

радиационного контроля на портативный компьютер по беспроводному каналу связи в режиме реального времени.

Научный руководитель: к.т.н. И.Л. Абрамов

Литература:

1. Бархатов А.Ф. Системы цифровой радиографии для контроля качества сварных швов магистральных нефтепроводов. Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. № 4, 2013. С. 61-63.
2. Троицкий В. А. Пособие по радиографии сварных соединений (Методические рекомендации для специалистов по радиографическому контролю). – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, “Феникс”, 2008. – 316 с.
3. ООО «ЭКСПЕРТ НК». Приборы и средства неразрушающего контроля [Электронный ресурс]. – URL: http://www.expertnk.ru/catalog/radiography/xraymachines/arina-9.html

Н.М. Назмутдинова
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань
nnailyam@mail.ru

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ЗОНЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Работа посвящена изучению способов и технологий по очистке выбросов зоны технического обслуживания автотранспортных предприятий.

В работе рассматриваются вопросы очистки воздуха АТП от оксидов углеродов при помощи адсорбционного метода.

Предложена технологическая схема по очистке воздуха в зоне технического, обслуживания автотранспортного предприятия, которая включает в себя вентиляторы, рукавный фильтр, огнепреградитель, адсорбер, десорбер. Произведен расчет параметров основного очистного устройства - адсорбера.

Объектом исследования является выбросы оксида углерода, источником поступления которого в атмосферный воздух является

деятельность зоны технического обслуживания автотранспортного предприятия.

Цель: минимизация техногенного воздействия на атмосферный воздух путем уменьшения концентрации оксидов углерода в зоне технического обслуживания автотранспортного предприятия, используя адсорбционные методы очистки воздуха с последующим контролем исходного и остаточного содержания оксида углерода для оценки опасностей деятельности зоны технического обслуживания автотранспортного предприятия.

Загрязнение окружающей среды стационарными источниками на транспорте происходит от производств, обеспечивающих ремонт транспортных средств, вспомогательных производств, зданий и сооружений хозяйственно-бытового назначения (котельных, вокзалов, экипировочных устройств, топливных складов), мест стоянок транспорта [1].

Газообразные выбросы попадают в воздух в результате работы производственных вентиляционных систем. Отличительной особенностью этих выбросов является наличие в них большого количества минеральной и органической пыли, аэрозолей, масляного тумана.

Системы удаления выхлопных газов позволяет удалять 100% выхлопных газов непосредственно от выхлопной трубы автомобиля, не давая газам и копоти попадать в помещение, что в свою очередь снижает затраты на ремонт помещений.

Известно четыре основных метода очистки воздуха от газообразных примесей:

1) метод абсорбции;
2) метод хемосорбции;
3) метод адсорбции;
4) метод термической нейтрализации.

В предлагаемой системе по очистке воздуха, основным методом является адсорбция.

Процесс адсорбции происходит на поверхности твердого пористого тела – адсорбента, где ненасыщенные поверхностные силы вступают во взаимодействие с силовыми полями адсорбируемых молекул [2].

При адсорбции возможны очень большие скорости поглощения и полное извлечение компонентов, выделение которых путем абсорбции было бы невозможно из-за их малой концентрации в смеси.

Преимущества адсорбции:

1) широкий диапазон поглощаемых компонентов;

2) возможность очистки газов с небольшой концентрацией примесей;

3) высокая эффективность очистки;

4) возможность автоматизации процесса [2].

Описание технологической схемы: исходная смесь подается в адсорбер (Ад) вентиляторами (В), одна из которых резервный, чтобы при внеплановом отключении адсорбера не прекращалось удаление вредных паров из помещения.

По противопожарному проектированию предприятий, учитывая взрывоопасность угольной пыли (при использовании в качестве адсорбента активных углей), требуют использования специальных устройств, предотвращающих возможность возникновения взрывов и пожаров. С этой целью перед подачей в адсорбер смесь проходит через рукавный фильтры (Ф) и огнепреградитель (Ог) с предохранительными мембранами.

Отработанный адсорбент поступает в десорбер (Д). Процесс десорбции проводится в основном двумя методами. В данной схеме предусмотрена регенерация адсорбента десорбцией перегретым паром. Из десорбера адсорбент пневмотранспортом возвращается в адсорбер. Воздух, используемый для пневмотранспорта и подаваемый вентилятором, подсушивает и охлаждает адсорбент.

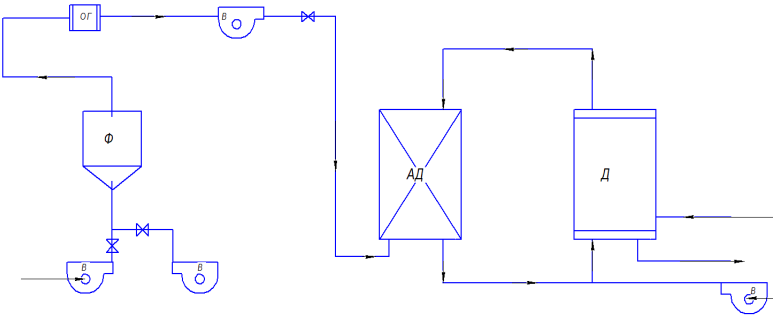


Рис. 1. Технологическая схема очистки

Через нижний патрубок 5 подается загрязненный воздух для очистки, а через верхний патрубок 8 подается адсорбент (тороидальное сетчатое устройство в виде замкнутой конструкции, соответствующий размерам шнека) на шнек 4. За счет вращательных движений адсорбент опускается вниз, а загрязненный воздух поднимется противотоком на встречу к адсорбенту. Загрязняющие вещества поглощаются адсорбентом. Отработавший адсорбент выводится из адсорбера через 9 и отправляется на десорбцию для

повторного его возвращения на адсорбцию, что позволяет делать процесс не прерывным. Очищенный от загрязнений воздух выводится через патрубок 6.

Такой способ организации устройства адсорбера позволяет сделать процесс очистки воздуха от ЗВ непрерывным. За счет изменения числа винтовых поверхностей дает возможность регулировать габариты устройства, регулировать время адсорбции , что в свою очередь влияет на качество очищаемого воздуха. Также использование адсорбента в виде тороидального сетчатого устройства, обеспечивает возможность, быстрой его замены при потери его адсорбционных свойств.

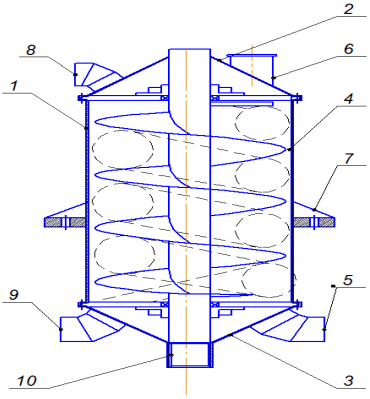


Рис. 2. Адсорбер

1 - корпус; 2 - крышка; 3 - днище; 4 - шнек; 5 - патрубок подачи воздуха на очистку; 6-патрубок отвода очищенного воздуха; 7 - опора; 8 - патрубок подачи адсорбента; 9 - патрубок отвода отработанногоадсорбента;10-шлиц

Рассмотрена технологическая линия автотранспортного предприятия с точки зрения техногенной опасности для атмосферного воздуха. На большинстве предприятий уже существует линия очистки, поэтому внедрение рассмотренных технологий экономически нецелесообразно. Рассмотрев передовой отечественный и зарубежный опыт в области обеспечения экологической безопасности при помощи ИТС 22-2016, было решено, для повышения эффективности очистки и повышения техногенной безопасности предприятия предложить усовершенствование основного узла технологической схемы очистки. Адсорбционный метода был выбран, как основной метод очистки воздуха на АТП. Выбор метода основывался на требованиях к уровню

очистки воздуха, эффективностью, производительностью и экономической целесообразностью. В качестве адсорбента гранулированный активный уголь, так как он является самым эффективным, надежным, обладает высокой селективностью, экономичен.

Для АТП предложена технологическая схема очистки от загрязняющих веществ, в которую входит вентиляторы, фильтры, огнепреградитель, адсорбер, десорбер. Для данной технологической схемы предложен адсорбер, который благодаря своему конструкторскому сооружению, дает возможность повысить уровень очистки воздуха, регулировать время процесса очистки, экономить площадь, занимаемую очистными сооружениями.

Научный руководитель: к.т.н, доцент А.В. Бердников

Литература:

1. Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. /Под ред. доктора техниче- ских наук, профессора, академика МАНЭБ и АТП РФ А.Г.Ветошкина – Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. - с.: ил., библиогр. 246 с.

2. Кирсанов В.В «Современные технико-технологические методы защиты окружающей среды. Т.II.Процессы и аппараты защиты атмосферы» Казань: Изд-во Казан.гос.техн.ун-та,2014. – 568с.

3. Дытнерский Ю.И., Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов, 1995.-389с.

4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технолгиям ИТС 22-2016. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Москва: Бюро НДТ. – 212 с.

А.В. Немцева, Е.О. Козлова
Братский государственный университет, г. Братск,
nemceva_av@mail.ru

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГЛАВНОГО ПАРОПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «РЕПЛИК»

Техническое состояние элементов энергооборудования оценивают, как правило, при обследованиях перед ремонтами. На основании этой оценки определяют, может ли элемент работать без ремонта или замены до следующего обследования, а также, исходя из вида разрушения, остаточный ресурс.

Фактически, остаточный ресурс – это доля технического ресурса, т.е. случайной величины наработки элемента энергооборудования от начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта до наступления предельного состояния. Под предельным понимается техническое состояние элемента, когда его дальнейшая эксплуатация недопустима по соображениям безопасности или экономической нецелесообразности ремонта. Для главного паропровода в качестве элементов рассматриваются прямые участки труб, гибы, сварные стыки.

Изменение технического состояния элемента происходит под действием эксплуатационных нагрузок: силовых, температурных, различных воздействий (коррозионных, эрозионных). В целом величина технического ресурса элемента зависит от конкретных рабочих напряжений в этом элементе при рабочей температуре на стационарных режимах работы или от размаха напряжений и температур на переменных режимах.

Главный паропровод – сложная пространственная трубопроводная система, элементы которой подвержены комбинированному действию внутреннего давления, компенсационных напряжений от температурных расширений, нагрузок от собственного веса и веса изоляции и арматуры. Металл элементов паропровода электростанций высокого давления работает в условиях ползучести в сложнонапряженном состоянии. Этим определяются механизмы деградации металла в эксплуатации.

Повреждение материала есть приводящий к разрушению процесс необратимых изменений, протекающий в материале под действием напряжений в условиях воздействий окружающей среды. На начальном уровне эксплуатации появляются микроповреждения структуры металла, которые, накапливаясь, превращаются в

микропоры, а затем и в цепочки микропор по мере роста срока эксплуатации. Так представляется типичный вид разрушения при ползучести. Сама ползучесть металла имеет три стадии: стадию неустановившейся ползучести (первую), когда скорость деформации убывает, стадию стационарной ползучести (вторую) с постоянной скоростью деформации и третью стадию – разрушения с растущей скоростью деформации. Микропоры в металле, как правило, по границам зерен, появляются на рубеже второй и третьей стадии ползучести, а цепочки микропор – на третьей стадии. Микропоры и их цепочки могут быть обнаружены с помощью металлографического анализа, в частности с помощью метода «реплик».

В качестве расчетного метода оценки остаточного ресурса чаще всего используется метод линейного суммирования повреждений. Повреждение материала есть приводящий к разрушению процесс необратимых изменений, протекающий в материале под действием напряжений в условиях воздействий окружающей среды. На микроуровне конкретным проявлением этого разрушения являются структурные изменения этого материала. Однако прямые методы измерений и оценки степени повреждения материала элементов практически отсутствуют. Поэтому для расчета накопленного повреждения используются феноменологические модели.

В линейной теории суммирования повреждений считается, что в начале эксплуатации накопленное в металле элемента повреждение равно нулю, разрушению соотвествует повреждение, равное единице. На первой и половине второй стадиях ползучести выявить накопленную поврежденность с помощью методов неразрушающей дефектоскопии не удается. Первые микропоры в металле обнаруживаются при накопленном повреждении порядка 0.5 – 0.6. Наиболее подходящим методом диагностики здесь является метод реплик.

Считается, что методика использования реплик для оценки микроструктуры и повреждаемости является наиболее полезной при обнаружении повреждений в результате ползучести. Недостатком метода является ограниченность площади осмотра. Это требует точного планирования контроля для того, чтобы охватить все возможные повреждения, так как метод дает локальную информации о распространении поврежденности.

Методика реплик является неразрушающим методом контроля поверхности, так как при его применении с поверхности снимется только очень тонкий слой материала. Этот метод позволяет изучать топографию поверхности в виде негативного рельефа.

Высококачественная реплика воспроизводит детали микроструктуры вплоть до размеров отдельных пор.

Практический опыт приготовления шлифов и реплик в производственных условиях показал, что качество и информативность реплики зависят от качества металлографического шлифа и способа его химического травления. Исследуемая поверхность должна быть очищена и приготовлена, как для металлографического исследования.

Реплика представляет собой зеркальное отображение микроструктуры на поверхности модели образца. Для изготовления модели используются различные материалы:

- пластинки или кубики из твердого полимерного материала - полистирола;
- плёночные материалы – фотографическая или рентгеновская пленка на ацетатной основе;
- жидкие составы – Creep-лак, жидкие полимеры.

При снятии реплик твердые или пленочные материалы предварительно размягчают растворителем, затем с усилием прижимают к поверхности шлифа для получения оттиска микроструктуры. Жидкие материалы наносят на поверхность шлифа тонким слоем и дают высохнуть, получая, таким образом, пленку с отображением микроструктуры. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинства полимерных материалов: возможность снятия реплик без дополнительных подложек и предметных стекол, неограниченное время хранения реплик. Недостатки - сложность в подготовке заготовок к контролю(дополнительная термообработка в печи),очень продолжительное время (1,5-2часа) затвердевания, невозможность приклеивания заготовки на крутоизогнутые поверхности(сварные соединения штуцеров с коллекторами).

Достоинства плёночных материалов: доступность, можно использовать кино-, фото- и рентгеновскую плёнку, растворимую в ацетоне. Не требуют дополнительной подготовки перед проведением исследования (только нарезка под необходимый размер). Длительное время хранения готовых реплик. Плёнку можно применять и при повышенной температуре от+30до+45ºС. Недостатки - ограниченное время на приклеивание реплики к предметному стеклу ввиду ее быстрого коробления. Сложность приклеивания плёнки на крутоизогнутые поверхности(сварные соединения штуцеров с коллекторами).

Creep-лак применяется при исследовании структуры металлов самых разных марок, степени усталости, глубины травления.

Нанесение состава производится кисточкой или из туба и не требует усилий. Температура образца может варьироваться от +10 до +30º С. Технология приготовления реплик позволяет исследовать структуру металла на искривленных поверхностях и в трудно доступных для контроля местах.

Недостатки жидких составов: требуется определенная толщина и равномерность слоя лака, необходима четкость операций при снятии реплики с объекта контроля, высыхание реплики более длительное и зависит от температуры окружающего воздуха. При значительной запыленности воздуха рабочей зоны требуется укрывать реплику, иначе частички пыли будут искажать микроструктуру

Creep-лак имеет определенный срок хранения и приходит в негодность от длительного контакта с воздухом. Малодоступность (производится только в одном месте и приобретается под заказ).

Исследование надежности любого узла проводят по слабому звену - элементу, имеющему наименьшую долговечность. В главном паропроводе таковым являются сварные стыки. Повреждение сварных соединений определяется прежде всего их физико-химической неоднородностью, возникающей вследствие термического цикла. Неоднородность проявляется в том, что отдельные зоны сварного соединения имеют различные остаточные напряжения и пластические деформации, а также неодинаковую структуру.

Прочность сварного соединения определяется свойствами трех зон – шва, зоны термического влияния и основного металла. Наиболее слабой считается зона термического влияния. Кроме всего прочего, существует естественное рассеяние свойств материала, технологические дефекты сварки и термообработки и т.п.

В этих условиях для полноценного исследования технического состояния необходимо правильно выбрать участки поверхности для снятия реплик и число таких участков

Остаточный ресурс сварных соединений определяется в следующей последовательности: на первом этапе по структурной шкале для сварных соединений данной марки стали устанавливается стадия микроповрежденности (и, дополнительно, стадия изменения микроструктуры), при этом оценивается степень исчерпания ресурса; на заключительном этапе расчетным путем устанавливается остаточный срок службы данного сварного соединения.

Металлографический анализ и контроль микроповрежденности сварных соединений элементов из сталей марок 12Х1МФ и 15Х1М1Ф

рекомендуется выполнять в зависимости от конструкционного, технологического и эксплуатационного факторов.

Тройниковые и штуцерные разнотолщинные трубные элементы и трубы с коническими переходами контролируются в районе перемычек и пускорегулирующей арматуры и устройств и вблизи расположения неподвижных опор.

Стыковые сварные соединения контролируются вблизи неподвижных опор и на перемычках в местах примыкания к тройникам.

Контроль сварных соединений методом реплик проводится непосредственно на шве либо в околошовной зоне (зоне термического влияния) не менее чем в четырех точках по периметру шва.

Степень поврежденности микроструктуры микропорами является основным критерием при определении возможности дальнейшей эксплуатации элементов высокотемпературного паропровода отработавших свой нормативный («гарантийный» срок). Однако, в настоящее время сама оценка микроповрежденности носит качественный или полуколичественный характер и производится путем сравнения изображения оцениваемой микроструктуры с эталонными изображениями по пяти- или семибалльной шкале.

Полуколичественная оценка микроповрежденности, возможно, и является основной причиной того, что расчет ресурса и остаточного времени эксплуатации (остаточного ресурса) по результатам исследования микроструктуры, то есть фактического состояния металла, не проводится.

При сложившемся положения в энергетике, когда замена элемента, детали или узла происходит только после их разрушения, количественная оценка состояния и расчет остаточного ресурса по степени микроповрежденности металла становятся насущно необходимыми. И в первую очередь потому, что разрушение некоторых элементов, работающих в условиях ползучести, и особенно гибов высокотемпературных паропроводов может приводить к большим разрушениям, а нередко, и к человеческим жертвам.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А.Федяев

Литература:

1. ОСТ 95 10540-98 Контроль разрушающий и неразрушающий. Метод металлографический

2. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

А.А. Нурмухаметова
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань
aigulya14.ru@mail.ru

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОВОЛОКНА

В данной работе изучена система очистки выбросов стекловаренной печи завода по производству стекловолокна от твердых частиц. При рассмотрении современных наилучших из доступных технологий был выбран механический метод очистки воздуха и предложена технологическая схема, которая включает в себя пылеуловитель с рукавным тканевым фильтром, произведен расчет фильтра и описана принципиальная схема аппарата очистки. В работе использованы современные методы и средства оценки техногенной опасности содержания твердых частиц в выбросах предприятия и проведена оценка зоны риска. Также проведена оценка предложенной технологии с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности.

Объектом исследования являются твердые частицы и взвешенные вещества, выбрасываемыt в атмосферу при производстве стекловолокна.

Цель данной работы направлена на снижение опасности воздействия стекловаренного производства на окружающую среду с использованием механического метода очистки выбросов от твердых частиц и взвешенных веществ.

Твердые частицы и взвешенные вещества попадают в атмосферу в процессе варки стекловолокна в специализированной стекловаренной печи. Высокое содержание в выбросах стекловаренной печи твердых частиц и взвешенных веществ, неблагоприятно сказывается на всем комплексе живой природы и является опасностью, связанной с человеческой деятельностью.

Технологическая линия производства стекловолокна включает в себя стадии подготовки сырья, смешивания и получения шихты, варки стекломассы, формования стекловолокна, отжига, в результате чего получается готовое изделие, а именно стекловолокно [1]. Необходимо отметить, что после использования по назначению данные изделия, оказывают дополнительное негативное воздействие на окружающую среду [2].

В данной работе проведен анализ передового отечественного и зарубежного опыта в сфере экологической безопасности в области защиты атмосферы, на основании которого предложено внедрение пылеуловителя с рукавным тканевым фильтром в качестве основного узла механической очистки выбросов стекловаренного производства [3]. Для очистки выбросов стекловаренной печи от твердых частиц предложено применение НДТ В-1. «Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (пыли), взвешенных веществ».

На рисунке 1 представлена технологическая схема очистки выбросов стекловаренной печи от твердых частиц и взвешенных веществ.

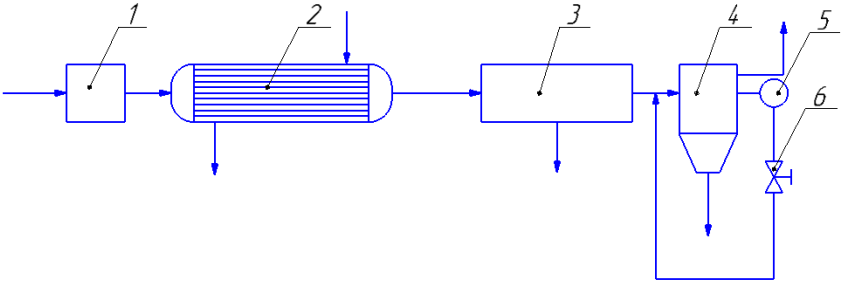


Рис. 1. Технологическая схема системы очистки выбросов стекловаренной печи от твердых частиц и взвешенных веществ: 1-печь; 2-теплообменник; 3-пылеосадительная камера; 4 - пылеуловитель; 5 – камера для воздуха; 6 – шибер

Образующиеся горючие газы в печи 1, отправляются в теплообменник 2, где происходит охлаждение горючих газов с помощью воды далее через шибер 3 переходят в пылеосадительную камеру 4, где проходит процесс пылеулавливания, воздух очищается от газов и от взвешенных твердых частиц, крупные частицы оседают, мелкие направляются в рукавный фильтр 5, там происходит очистка менее крупных твердых частиц. В конечном итоге, пройдя эти стадии очистки, воздух выбрасывается в атмосферу.

На выходе выбросов из системы очистки производится пробоотбор для анализа на соответствие установленным нормативам. В качестве метода и средства производственного экологического контроля оценки качества очистки выбросов от твердых частиц

предложен оптический метод. В качестве прибора контроля качества очистки – стационарный оптический пылемер «ИКВЧ-М».

Основным аппаратом очистки в представленной технологической схеме является пылеуловитель с фильтром марки ФРКДИ – 550. Рукавный фильтр такой марки имеет регенерацию и обратную продувку воздухом. Комплектация данного фильтра включает в себя фильтрующую секцию, с установленными рукавами, ресивер с клапанами, бункер с опорами, устройство выгрузки, прочистной люк, шкаф управления. Изначально загрязненный воздух проходит внутрь фильтра через входной фланец, далее проходит сквозь ткань рукавов, изнутри наружу, частицы пыли осаждаются в порах ткани, а чистый газ выводится через выходной фланец. По мере возрастания слоя пыли, также возрастает сопротивление ткани. Рукавный фильтр данной модели оснащен системой продува, направление воздуха обратно движению очищенного газа. [4].

В данной работе проведены расчеты параметров рукавного фильтра, площадь фильтрующей поверхности, количеств секций и рукавов в секции, предложен материал фильтровальной ткани. Также проведена оценка предложенной технологии с точки зрения промышленной безопасности и экономической эффективности [5].

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.В. Бердников

Литература:

1. Гулоян Ю.А. Физико-химические основы технологии стекла. // Учебное пособие для высших и средних учебных заведений, систем научного и производственного обучения.- Владимир: «Транзит-ИКС», 2008,- 736 с. Иллюстр.

2. Гуревич П.А., Шавалеева С.М., Глебов А.Н., Баянова Л.Н. Химическая коррозия стеклобоя и отходов стеклянной тары как фактор негативного влияния на окружающую среду / Вестник КНИТУ-КХТИ, 2013, №11, с 58

3. Информационо-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 8 - 2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции(товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях», 2015 . – 116

4. Тимонин А.С. Справочник. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования т.2.2002 – 220 с.

5. Кирсанов В.В. Промышленная и экологическая безопасность: практикум/ В.В.Кирсанов: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. - 211с.

С.А. Павлов, И.В. Андреев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
pavlov_sergey@sibmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРОДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В КАЧСТВЕ КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Введение. В России и в некоторых странах ближнего зарубежья с целью снижения выбросов парниковых газов, отмечается рост количества переводов объектов коммунальной энергетики с традиционных, ископаемых видов топлив на альтернативное, возобновляемое [1].

Это путь учета и экономии невосстанавливаемых энергетических природных ресурсов, путь, по которому идет цивилизованный мир и который позволит России приблизиться к индустриально развитым странам по показателям удельной энергоемкости промышленного производства [2].

К их числу можно отнести имеющиеся в большом количестве на территории Сибири, а именно в г. Асино Томской области, отходы деревообрабатывающей промышленности.

Отходы лесопереработки скрытый потенциал. В настоящее время кородревесные отходы (КДО) не идут на переработку и, как правило, складируются на свалках твердобытовых отходов (ТБО), что является не целесообразным использованием данного ресурса [3]. Проблема оптимального использования древесных отходов ныне является частью общей проблемы повышения эффективности производства. В настоящее время существует 3 основных способа использования древесных отходов: захоронение в специально отведенных местах (что является нецелесообразно), переработка с получением других видов продукции, сжигание с выработкой электрической и тепловой энергии [4]. Сжигание в специализированных котлоагрегатах, способных вырабатывать тепловую и электрическую энергию, способствует вовлечению данного вида топлива в энергетику страны. Свойства древесной биомассы оказывает важную роль на конструкцию устройства, в котором будет осуществляется процесс сжигания. Также в значительной мере влиять на эффективность использования водогрейных и паровых котлов [5].

В качестве примера можно привести Белгородский котельный завод, который ведет выпуск котлов на совместном сжигании угля и

древесного топлива, рассчитанных на паропроизводительность 2,5 т/ч и обеспечивающих предприятия технологическим паром [6].

Большой интерес представляет сжигание КДО в многотопливном котлоагрегате. Первая попытка создать серийный отечественный многотопливный котельный агрегат принадлежит Белгородскому котельному заводу. Данный проект способен сжигать наряду с энергетическими топливами (каменные и бурые угли, торф, мазут, газ) высоковлажные древесные отходы [7].

Можно сделать вывод, что для эффективной работы устройства необходимо стремиться закладывать в него максимально сухой материал – тогда его потребуется значительно меньше.

Поверочный расчёт котельной установки с паровым котлом. Объектом исследования является топка и предтопок многотопливного котельного агрегата марки Е-50-3,9-440 ДГ, установленного в ЛПК ЗАО «Роскитинвест» на «Асиновской ТЭЦ» в г. Асино Томской области. Данный агрегат способен сжигать природный газ и древесные отходы. Котельная установка состоит из камерной топки П-образной компоновки и слоевой топки шахтного типа (рис. 1).

В таблице 1 представлен состав древесных опилок, сжигаемых в паровом котле.

Таблица 1 – Состав древесных опилок

Состав		Древесные опилки	
Углерод	C^p	23,28	%
Сера	S^p	0	%
Водород	H_2	2,764	%
Кислород	O_2	19,29	%
Азот	N_2	0,305	%
Влага	W^p	53,9	%
Зольность	A^p	0,2	%

Значение влажности древесных опилок может меняться в зависимости от времени года, увеличиваться в осеннее и зимнее время, в следствие чего необходимы соответствующие условия их хранения в данный период времени.

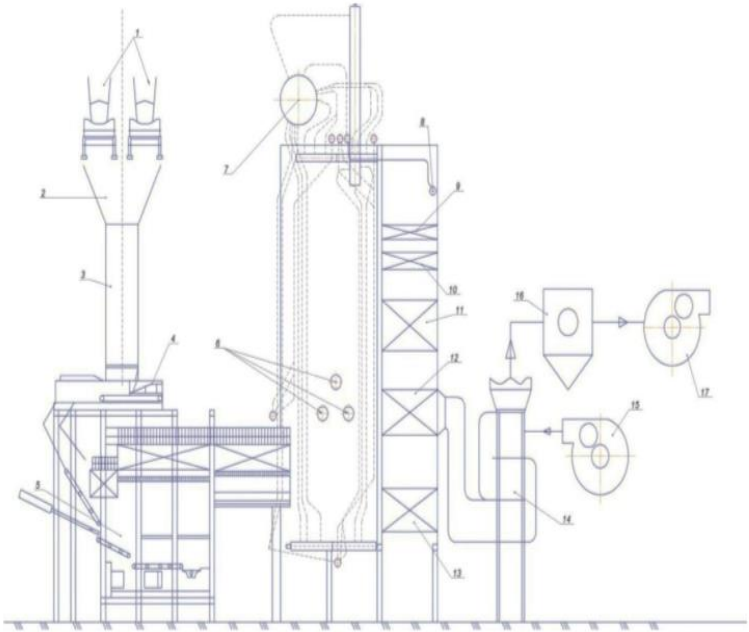


Рис.1 – Компоновка котельной установки с паровым котлом Е-50-3,9-440ДГ
1 – транспортер топочный, 2 – приемный бункер, 3 – рукав топливный, 4 – питатель-дозатор, 5 – топочное устройство, 6 – горелочные устройства, 7 – барабан котла, 8 – настенный пароперегерватель, 9 – пароперегреватель 2-й ступени,10 – пароперегреватель 1-й ступени, 11 – экономайзер 2-й ступени, 12 – воздухоподогреватель 2-й ступени, 13 – экономайзер 1-й ступени, 14 – воздухоподогреватель 1-й ступени, 15 – дутьевой вентилятор, 16 – батарейный циклон, 17 – дымосос

В таблице 2 представлен состав природного газа, сжигаемого в паровом котле.

Таблица 2 – Состав природного газа

Состав	Природный газ		
Азот	N_2	2,5	%
Углекислота	CO_2	0,5	%
Метан	CH_4	92,8	%
Этан	C_2H_6	2,8	%
Пропан	C_3H_8	0,9	%
Бутан	C_4H_{10}	0,4	%
Пентан	C_5H_{12}	0,1	%
Влагосодержание	W	10,1	%

Согласно нормативному методу был произведен поверочный расчет, основные данные которого сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчетные данные котельной установки на древесных отходах и природном газе

Наименование величины	Размерность	Величина	
		Древесные отходы	Природный газ
Температура газов на выходе из предтопка	°С	1400	-
Адиабатическая температура	°С	1424,42	1987,51
Температура газов на выходе из топки	°С	900	1000
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки	-	1,4	1,1
Теоретический объем воздуха необходимый для полного сгорания топлива	м3/кг	2,159	9,677
Температура горячего воздуха	°С	270	270
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	7,248	35,112
КПД котельной установки	%	81,5	93,557
Расход топлива	кг/с	6,34	1,141

Опираясь на полученные результаты можно сделать выводы касательно работоспособности котельной установки, выявить проблемы, которые могут возникнуть при эксплуатации.

Вывод. Хоть кородревесные отходы и не являются классическим энергоносителем, они могут являться альтернативным решением многих предприятий занимающихся деревообрабатывающей отраслью, ведь по сути таким путём образуется практически безотходное производство. И даже золу можно использовать в виде удобрений. Такое решение может стать огромным шагом вперёд на пути к полному использования ресурсов предприятия, нивелируя затраты и повышая продуктивность производства.

Выполнив поверочный расчёт исследуемого котельного агрегата на древесных отходах и природном газе, а также проанализировав полученные результаты и сравнив их между собой, можно сделать

вывод, что использование кородревесных отходов в качестве альтернативного топлива возможно и в реальных условиях. Для получения более глубоких процессов, протекающих в топочной камере, необходимо провести математическое моделирование при сжигании природного газа и древесных отходов.

Научный руководитель: старший преподаватель А.Ю. Долгих.

Литература:

1. Кудрявцева Л.А., Мазуркин П.М. Изучение особенностей горения древесных опилок // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 6-3. – С. 85-90.
2. Семенов, Ю.П. Лесная биоэнергетика[Текст]: учебное пособие/ Ю.П. Семенов, Б. Хиллринг, М. Парикка. М.: ГОУ ВПО МГУ Л, 2010. 348 с.
3. Анализ энергетического потенциала древесных отходов в лесопромышленном комплексе Архангельской области / О.Д. Мюллер [и др.] // Лесн. журн. -2010. - № 3. - С. 94-101. - (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В, И. Энергетическое использование древесных отходов. – М.: Леси, пром-сть, 1987–224с.
5. Энергетическое использование древесных отходов URL: http://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=161
6. Расев, А.И. Тепловая обработка и сушка древесины [Текст]. М.: ГОУ ВПО МГУ Л, 2009. 360 с.
7. Глейзер, Илья Шулимович. Котлы энерготехнологических и тепловых электростанций / И. Ш. Глейзер. – Москва: Энергосервис, 2010. – 248 с.: ил.. – Библиогр.: с. 241-243.
8. Котлы-утилизаторы и котлы энерготехнологические: каталог / Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по тяжелому и транспортному машиностроению (ЦНИИТЭИТЯЖМАШ). – Москва: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1998. – 104 с.: ил..

А.А. Паутов, Е.С. Куклин
Братский государственный университет, г. Братск
Pautov21989@icloud.com

СЖИГАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ТОПЛИВА

В настоящее время на предприятиях лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности образуется большое количество неликвидных отходов древесины, которые уже непригодны для вторичной переработки. Все неиспользуемые для технологической переработки отходы лесозаготовок и деревообработки могут найти применение в энергетике предприятий. Древесное топливо – возобновляемый экологически чистый вид топлива с калорийностью на уровне бурых углей. Доступность этого вида топлива определяется наличием в регионах страны предприятий по заготовке и глубокой переработке древесины, а также лесов с малоценной древесиной. На сегодняшний день в России для сжигания КДО установлено большое количество котельных агрегатов устаревших типов. Котлы имеют топки со свободно залегающим слоем, с наклонной или механической колосниковой решеткой, топки скоростного горения системы В.В. Померанцева с «зажатым» слоем. Эти топки позиционируются как типовые, «универсальные», но для каждого типа отходов необходима разработка специального топочного устройства с учетом его специфических характеристик. Причем это справедливо и для топочных устройств нового типа, например, с низкотемпературным и высокотемпературным кипящим слоем.

Применение в энергетике КДО, лигнина и других альтернативных топлив затруднено отсутствием их данных в нормативной базе, недостаточной изученностью свойств, сложностью их поведения в топочных процессах и необходимостью разработки специального оборудования. Например, корьевые и другие отходы зачастую имеют повышенную влажность, низкую теплоту сгорания, широкий диапазон гранулометрического состава и непригодны для прямого сжигания, а требуют переработки в качественные виды топлива. Специфические свойства отходов, высокая влажность и выход летучих, до85-90%, делают невозможным применение традиционных схем, требуют дополнительных мер по стабилизации топочного процесса. Например, для вовлечения в топливный баланс КДО, характеризующихся широким гранулометрическим составом и значительными изменениями свойств и характеристик, требуется разработка не только собственно методов сжигания, но и технологической схемы в целом, включая подготовку и подачу топлива. Здесь важна возможность мало

затратной модернизации типовых энергетических котлов с заменой значительной доли качественного топлива, до50%, на КДО путем разработки и установки высокоэффективных топочных устройств.

Еще в большей степени обоснование технологических схем и разработка требуемого набора оборудования необходимы при создании производства качественных видов энергетического био топлива из КДО, лигнина и подобных ему отходов, не пригодных для эффективного прямого сжигания. В данной работе рассматривается работающая схема для совместного сжигания бурого угля и КДО, а именно паровой котелБКЗ-75переведенный на совместное низкотемпературное вихревое сжигание (НТВ) кородревесных отходов (КДО) и размолотого угля по патенту РФ, ПМ №86705 (Пузырев Е.М., Голубев В.А., Жуков Е.Б.«Низкотемпературная вихревая топка» от 06 апреля 2009г). При реконструкции котла существенно изменена организация подачи дутья за счет установки воздуховодов для нижнего заднего дутья вхолодную воронку и под колосники выгружателей шлака. Подача нижнего дутья приводит к формированию вихревой аэродинамики в топочном объеме и существенно повышает надежность воспламенения и устойчивость топочного процесса, что позволит замещать значительную долю угля, до 35% по теплу, на КДО. Вихревой топочный процесс вовлекает в теплообмен весь объем топки, все топочные экраны и становится низкотемпературным. Уменьшается эмиссия оксидов серы и углерода (угарного газа), азота, неравномерность теплосъема по экранам и зашлаковывание труб. Предложенная схема имеет место и при сжигании угля, т.к. более эффективна и более устойчива, чем факельное пылеугольное сжигание. Проектом также предусмотрен дополнительный тракт топливоподачи, обеспечивающий приемку, сортировку, сушку, хранение и транспортировку КДО до котлоагрегата.

Целью работы является разработка математической модели для анализа процессов, протекающих в топке котла БКЗ-75 при помощи пакета программ для численного моделирования SigmaFlame. Математическое моделирование топочных устройств, становится одним из важнейших способов получения информации об аэродинамике, локальном и суммарном теплообмене, образовании вредных ингредиентов. Эта информация крайне необходима при решении следующих научных и проектно-конструкторских задач: проектирование новых котельных агрегатов; экспертная оценка различных вариантов технических проектов котлов; разработка рекомендаций по переводу котлов на другие топлива и их смеси;

уточнение режимных карт на действующем оборудовании при минимальном объеме натурных испытаний; анализ различных режимов работы топки, в том числе аварийных ситуаций; дополнение данных по локальному теплообмену при опытных сжиганиях различных углей в условиях ограниченного объема измерений; модернизация горелочных устройств; разработка систем ступенчатого сжигания с целью снижения выбросов оксида азота.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А.Федяев

Литература:

1. Григорьев К.А. диссертация «Разработка и внедрение технологических решений, повышающих эффективность низкотемпературного вихревого сжигания топлива» Санкт – Петребург2010 г.
2. Biomass Combustion and Co-firing [Электронный ресурс]. – URL: http://task32.ieabioenergy.com/
3. Голубев В.А диссертация «Обоснование и совершенствование способов энергетического использования растительных отходов» Барнаул 2014 г.
4. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учеб.пособие – Изд. 3-е испр.-/ СПб ГТУ РП. СПб., 2012. – 136 с.: ил 54. 9

В.Ю. Плиско, Д.В. Савченков.

Национальный исследовательский Томский политеънический университет, г.Томск

savchenkov95@gmail.com

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ НЕПРОЕКТНЫХ ТОПЛИВ В КОТЛЕ БКЗ-220-100 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОТОЧНЫХ ГОРЕЛОК

Проблема повышения эффективности сжигания топлива в паровых котлах и взаимозаменяемость видов топлива при использовании не проектных типов исследуется давно, но актуальна до сих пор. Возможность замены сжигаемого непроектного топлива в некоторых случаях может решить проблему истощения залежей угля и перехода на другой. Но следует учитывать тот факт, что прямоточные горелки рекомендуется использовать для сжигания

высокореакционного бурого угля. Эти рекомендации даются исходя из того, что необходимо обеспечить полноту сгорания частиц угля. В прямоточных горелках идёт разделение на каналы подачи первичного и вторичного воздуха, которые вдуваются в топку[1,2].

В данной работе выполняется оценка возможностей использования прямоточных горелок при сжигании высокореакционных каменных и бурых углей с помощью математического моделирования котла БКЗ-220-100.

К высокореакционным каменным углям относятся: жирный (Ж), тощий (Т), длиннопламенный (Д) и т.д., а к бурым: 1Б, 2Б, 3Б. В данной работе сравнивается смесеобразование двух углей Артемовского бурого 3Б и Олонь-Шибирского каменного Д. Эти топлива были выбраны из-за схожих выходов летучих веществ (Олонь-Шибирский Д V^{daf}=43,5% и Артемовский 3Б V^{daf}=50%). Для сжигания каменных и бурых углей с высоким выходом летучих (>30%) по рекомендациям [2] выбор возможен между прямоточными и прямоточно-лопаточными горелками. Исходя из процентного содержания выхода летучих веществ исследуемых углей, (Олонь-Шибирский Д V^{daf}=43,5% и Артемовский 3Б V^{daf}=50%) были выбраны прямоточные вертикально-щелевые горелки с односторонней подачей пылевоздушной смеси [2, с.55 рис.6.7]. Количество горелок выбрано четыре, с единичной мощностью 50 МВт, размещенных в один ярус.

Проведенные сравнительные испытания котлов с горелками различной степени модификации показали, что с переходом от существующего вихревого (закрученного) способа ввода реагентов в топку к прямоточному уменьшаются тепловые штоки в направлении металлоконструкций и обмуровки горелочных амбразур, это обеспечивает повышение их надежности[3].

В России накоплен большой опыт малозатратной реконструкции пылеугольных котлов с целью улучшения комплексных показателей их работы при применении прямоточных горелок и сопл, при этом уделялось первостепенное внимание обеспечению экологической безопасности котельного оборудования. Прямоточные горелки позволяют эффективно и надежно сжигать твердое топливо только при организации эффективного взаимодействия горелочных и воздушных струй в объеме топочной камеры. В работах МЭИ оптимизация аэродинамики топки котлов проводилась на основании проведения исследований на физических и математических моделях топок котлов [4].

Для исследования процессов горения в котле используем программу ANSYS FLUENT[5].

FLUENT позволяет решать самые разнообразные задачи — от обтекания крыла самолета до горения в коксовых печах, от расчета процессов в барботажных колоннах до производства стекла, от течения жидкости в кровеносных сосудах до изготовления полупроводниковых приборов и т.п. Во FLUENT включены ламинарные и турбулентные модели гидродинамики, теплопередачи, фазовых переходов и радиации. Также имеются модели для расчета кавитации, течения сжимаемых сред, теплообмена, теплопроводности, реальных газов и модуль для расчета влажного пара. Возможность использования динамической сетки существенно расширяют область применения FLUENT.

Математическое моделирование топочных устройств является одним из важнейших способов получения информации об аэродинамике, локальном и суммарном теплообмене. Эта информация весьма необходима при проектировании новых тепловых установок и оценки работы эксплуатирующихся. Математическое моделирование особенно полезно при разработке новых технологий для оценки их работоспособности и потенциала, а также для анализа надёжности эксплуатации проектируемого оборудования.

В программе FLUENT было произведено моделирование топочной камеры котельной установки. В ходе работы была проведена оценка работоспособности, надежности топочной камеры.

На начальном этапе моделирования была построена геометрическая модель, которая была разбита на сетку. Были названы области, соответствующие каналам такие как горелочные устройства, зона выхода дымовых газов, а также области стен рис 1.

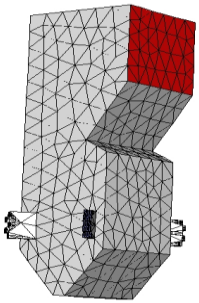


Рис.1. Расчетная сетка

На рисунках 2, 3 графически показаны результат математического моделирования в топочной камере, на котором показаны

распределения скоростей и линии движения топлива и воздуха в топочной камере при сжигании Олонь-Шибирского и Артемовского угля.

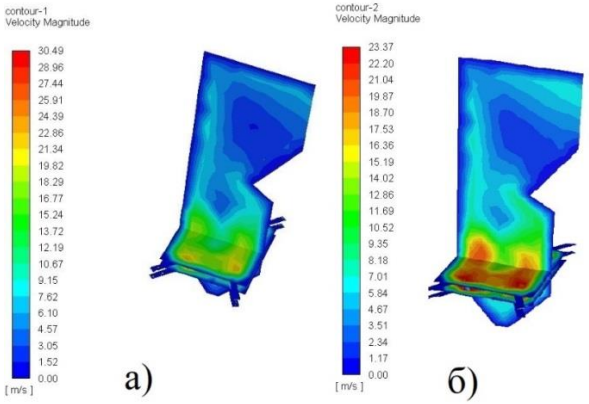


Рис.2. Графическое распределения скоростей

Рекомендуемые значения скорости вылета частиц из прямоточных горелок находится в диапозоне 20-30 м/с[6]. По результатм математического моделирования на рисунке 2: а) для каменного угля, скорость вылета частиц равна 20 м/с; б) для бурого угля скорость вылета частич равна 23 м/с. Полученные значения попадают в рекомендуемый диапазон.

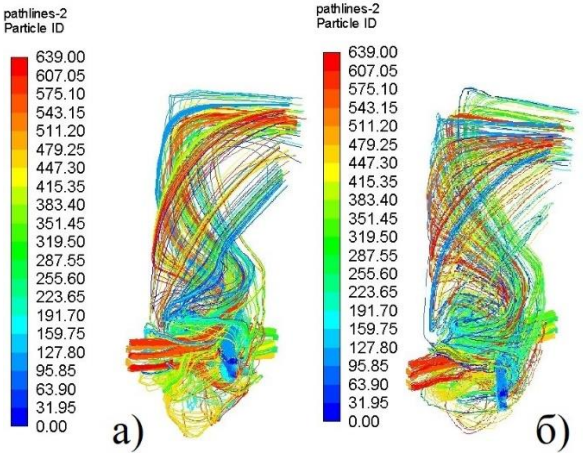


Рис. 3 Графическое распределение газового потока

На риунке 3 линии закручиваются в вихрь внутри топочной камеры, что достигается при выборе прямоточных горелок с тангенциальной компоновкой. Это обеспечивает экономичное сжигание каждого из видов углей. Следовательно процесс горения организуется согласно рекомендациям[2].

Результат выполненной работы показывает возможность замены применения технологии сжигания бурых углей на высокореакционные каменные в прямоточных горелках расположенных тангенциально, без каких либо координальных изменений тахнологий.

Научный руководитель: старший преподаватель А.Ю. Долгих

Литература:

1. Резников М.И., Липов Ю.М., Паровые котлы тепловых электростанций: Учебник для вузов. – Стереотипное издание. – М.: Альянс, 2016. -240с. Ил.
2. Киричков В.С. Разработка, исследование и оптимизация схем сжигания энергетических топлив в прямоточно-вихревом факеле в паровых котлах: дис. …канд.техн.наук.: 05.14.14 – Москва, 2014. – 197 с.
3. Фурсов И.Д. Конструирование и тепловой расчет паровых котлов: учебное пособие/И.Д. Фурсов; Атл. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова.- 3-е изд. перераб. и доп. - Стереотипное издание. М.: Альянс, 2015. - 300с.
4. Осинцев В.В., Сухарев М.П., Кузнецов Г.Ф., Торопов Е.В., Пути улучшения технологии комбинированного сжигания газа и твердого топлива на котлах БКЗ-210-140Ф второй очереди Челябинской ТЭЦ-2// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика – 2007-№7-с. 3-4.[Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/puti-uluchsheniya-tehnologii-kombinirovannogo-szhiganiya-gaza-i-tverdogo-topliva-na-kotlah-bkz-210-140f-vtoroy-ocheredi-chelyabinskoy (дата обращения 06.11.17).
5. Волков Э.П., Архипов А.М., Прохоров В.Б., Чернов С.Л., Повышение экологической безопасности, надёжности и экономичности пылеугольных котлов//Проблемы региональной энергетики – 2017-с. 45-53 [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-ekologicheskoy-bezopasnosti-nadyozhnosti-i-ekonomichnosti-pyleugolnyh-kotlov (дата обращения 06.11.17)

6. ANSYS FLUENT 6.3 in Workbench User's guide// АНСИС. – URL: http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/121/fluent/flwb.pdf (дата обращения 05.11.17)

7. Ю.М. Липов, Ю.Ф. Самойлов, Т.В. Виленский. Компоновка и тепловой расчёт парового котла: Учеб. Пособие для вузов/Репринтное воспроизводство издания 1988г. – М.: Издательство Альянс, 2012.– 208 с.: ил.

М.И. Погодаев
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ, г. Братск
feia@brstu.ru

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗК) – метод, предложенный С. Я. Соколовым в 1928 году и основанный на исследовании процесса распространения ультразвуковых колебаний с частотой 0,5 — 25 МГц в контролируемых изделиях с помощью специального оборудования – ультразвукового преобразователя и дефектоскопа.

Принцип работы УЗК - звуковые волны не изменяют траектории движения в однородном материале. Отражение акустических волн происходит от границы раздела сред с различными удельными акустическими сопротивлениями. Чем больше различаются акустические сопротивления, тем большая часть звуковых волн отражается от границы раздела сред. Так как включения в металле обычно содержат газ (смесь газов) возникающих вследствие процесса сварки, литья и т. п. И не успевают выйти наружу при затвердевании металла, смесь газов имеет на пять порядков меньшее удельное акустическое сопротивление, чем сам металл, то отражение будет практически полное.

Разрешающая способность акустического исследования, то есть способность выявлять мелкие дефекты раздельно друг от друга, определяется длиной звуковой волны, которая в свою очередь зависит от частоты ввода акустических колебаний. Чем больше частота, тем меньше длина волны. Эффект возникает из-за того, что при размере препятствия меньше четверти длины волны, отражения колебаний практически не происходит, а доминирует их дифракция. Поэтому, как правило, частоту ультразвука стремятся повышать. С другой стороны,

при повышении частоты колебаний быстро растёт их затухание, что сокращает возможную область контроля. Практическим компромиссом стали частоты в диапазоне от 0,5 до 10 МГц.

Существует несколько методов возбуждения ультразвуковых волн в исследуемом объекте. Наиболее распространенным является использование пьезоэлектрического эффекта. В этом случае излучение ультразвука производится с помощью преобразователя, который преобразует электрические колебания в акустические с помощью обратного пьезоэлектрического эффекта. Отраженные сигналы попавшие на пьезопластину из-за прямого пьезоэлектрического эффекта преобразуются в электрические, которые и регистрируются измерительными цепями.

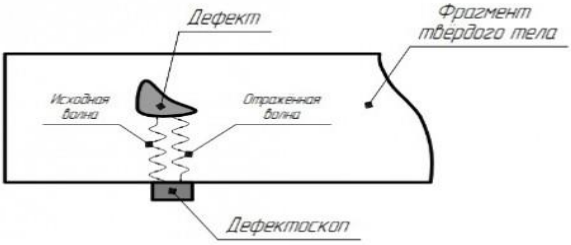


Рис.1. Использование пьезоэлектрического эффекта при возбуждении ультразвуковых волн в исследуемом объекте

Также используются электромагнитно-акустический (ЭМА) метод, основанный на приложении сильных переменных магнитных полей к металлу. КПД этого метода гораздо ниже, чем у пьезоэлектрического, но зато может работать через воздушный зазор и не предъявляет особых требований к качеству поверхности.

Преимущества:

Ультразвуковой контроль не разрушает и не повреждает исследуемый образец, что является его главным преимуществом. Возможно проводить контроль изделий из разнообразных материалов, как металлов, так и неметаллов. Кроме того можно выделить высокую скорость исследования при низкой стоимости и опасности для человека (по сравнению с рентгеновской дефектоскопией) и высокую мобильность ультразвукового дефектоскопа.

Недостатки:

Использование пьезоэлектрических преобразователей требует подготовки поверхности для ввода ультразвука в металл, в частности создания шероховатости поверхности не ниже класса 5, в случае со сварными соединениям ещё и направления шероховатости

(перпендикулярно шву). Ввиду большого акустического сопротивления воздуха, малейший воздушный зазор может стать непреодолимой преградой для ультразвуковых колебаний. Для устранения воздушного зазора, на контролируемый участок изделия предварительно наносят контактные жидкости, такие как вода, масло, глицерин. При контроле вертикальных или сильно наклоненных поверхностей необходимо применять густые контактные жидкости с целью предотвращения их быстрого стекания.

Для контроля изделий с внешним диаметром менее 200 мм, необходимо использовать преобразователи, с радиусом кривизны подошвы R, равным 0,9-1,1R радиуса контролируемого объекта, так называемые притертые преобразователи, которые в таком виде непригодны для контроля изделий с плоскими поверхностями. Например, для контроля цилиндрической поковки, необходимо производить перемещение преобразователя в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что подразумевает под собой использование двух притёртых преобразователей — по одному для каждого из направлений.

Как правило, ультразвуковая дефектоскопия не может дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, лишь о его отражательной способности в направлении приемника. Эти величины коррелируют, но не для всех типов дефектов. Кроме того, некоторые дефекты практически невозможно выявить ультразвуковым методом в силу их характера, формы или расположения в объекте контроля.

Практически невозможно производить достоверный ультразвуковой контроль металлов с крупнозернистой структурой, таких как чугун или аустенитный сварной шов (толщиной свыше 60 мм) из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука. Кроме того, затруднителен контроль малых деталей или деталей со сложной формой. Также затруднен ультразвуковой контроль сварных соединений из разнородных сталей (например аустенитных сталей с перлитными сталями) ввиду крайней неоднородности металла сварного шва и основного металла.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Федяева В.Н.

Литература:

1. Ультразвуковая дефектоскопия как инструмент качества [Электронный ресурс]. – URL: https://www.pergam.ru/articles/ultrazvukovaya-defektoskopiya.htm

2.Газстройсервис [Электронный ресурс]. – URL: http://gazss.ru/catalog/274/

3.Ультразвуковой контроль сварных швов [Электронный ресурс]. – URL: http://taina-svarki.ru/kachestvo-i-kontrol-svarki/kontrol-svarnyh-soedineniy/ultrazvukovoy-kontrol-svarnyh-shvov.php

4. Ультразвуковая дефектоскопия [Электронный ресурс]. – URL: http://pereosnastka.ru/articles/ultrazvukovaya-defektoskopiya

Е.А. Слобода, П.В. Медведев
Братский государственный университет, г. Братск
Medvedev-petia2013@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОТЕХНИКЕ

Переход металла из жидкого состояния в твердое называется кристаллизацией. Она протекает вследствие перехода системы из термодинамически неустойчивого состояния в термодинамически устойчивое состояние, т.е. из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией. Во время плавления происходит поглощение теплоты, которая расходуется на повышение энергии атомов, т.е. на «разрушение» кристаллической решетки металла. Эта теплота называется скрытой. В процессе кристаллизации происходит обратное выделение энергии в виде скрытой теплоты кристаллизации. Она компенсирует тепло, которое отводится в окружающую среду, и задерживает падение температуры. С увеличением скорости охлаждения степень переохлаждения возрастает, и процесс кристаллизации протекает при температурах, значительно более низких, чем равновесная температура кристаллизации.

Твердые тела — это вещества, которые обладают некоторой жесткостью по отношению к сдвигу. Структура таких веществ обычно является кристаллической. Кристаллы характеризуются правильным расположением атомов. В них существует строгая повторяемость одних и тех же элементов структуры (атомы, группы атомов, молекулы). Кроме кристаллических веществ, в природе имеются также аморфные твердые тела, в которых отсутствует характерный для кристаллов «дальний» порядок. В то же время в них наблюдается определенная упорядоченность в расположении атомов, характеризуемая так называемым «ближним» порядком. Различие в структуре этих двух групп твердых тел приводит к различию в их физических свойствах.

Физика твердого тела — это наука о строении, свойствах твердых тел и происходящих в них явлениях. Большинство твердых веществ находится в кристаллическом состоянии. Кристалл однороден по химическому составу и физическим свойствам, т. е. два его любых участка одинаковой формы, объема и ориентировки идентичны по своим свойствам. Однако многие физические характеристики (тепловые, электрические, магнитные, прочностные и некоторые другие) анизотропны, т.е. различны в зависимости от направления в кристалле.

Важным свойством кристаллов является их способность образовывать при равномерных условиях правильные многогранники, форма которых характерна для каждого вещества. Это свойство является следствием периодической закономерности в расположении атомов, которая в каждом конкретном случае может быть описана некоторым математическим законом, отвечающим определенным закономерностям симметрии.

Другим важным следствием правильной внутренней структуры является симметрия внешней формы кристаллов, которая проявляется в закономерном повторении граней определенной формы, размеров и ребер определенной длины. Трехмерная периодичность в расположении атомов (ионов, молекул или групп атомов) вещества позволяет построить связанную с этим расположением пространственную решетку. Повторяющиеся элементы («точки») этой решетки называются узлами. В наиболее простых случаях положение узлов решетки совпадает с положением центров атомов (ионов), в более сложных – узел может быть геометрическим центром или центром тяжести определенной атомной группировки. Прямые, проходящие через узлы пространственной решетки, называются узловыми прямыми; плоские сетки, образованные узловыми прямыми – узловыми плоскостями. Любое направление в кристалле, совпадающее с направлением узловой прямой, называется кристаллографическим направлением. Расстояние между двумя ближайшими однотипными узлами в данном кристаллографическом направлении называется периодом идентичности или периодом повторяемости. Для описания пространственной решетки вводят систему координатных осей следующим образом: начало координат помещают в один из узлов решетки, три координатных оси должны совпадать с тремя некомпланарными кристаллографическими направлениями. Описание решетки оказывается наиболее простым и удобным, если выбор осей соответствует симметрии кристалла и его пространственной решетки. Кристаллографические направления,

совпадающие с выбранными осями координат, называются основными кристаллографическими осями.

В 1783 году французский аббат Р.Ж Гаюи, минералог по призванию, высказал предположение, что всякий кристалл составлен из параллельно расположенных равных частиц, смежных по целым граням. В 1824 году ученик великого Гаусса, профессор физики во Фрайбурге Л.А.Зеебер для объяснения расширения кристаллов при нагревании предложил заменить многогранники Гаюи их центрами тяжестей. Причём эти центры тяжести образуют правильную систему точек, которая впоследствии была названа пространственной решёткой, а сами точки – узлами пространственной решётки. Если изобразить каждый из ионов точкой и соединить их между собой, то можно получить геометрический образ, рисующий внутреннюю структуру идеального кристалла, его пространственную решётку.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Федяев

Литература:

1. Адаскин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка). – М., 2003.
2. Черепахин А.А. Материаловедение. – М., 2004.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М., 2000.
4. Металловедение / Под ред. М.Н. Самоходского. – М., 2000.
5. Случинская И. А. Основы материаловедения и технологи полупроводников. М.: Либрус, 2002, 376 с.

Д.В. Таюрский, Р.Н. Гайнутдинов[a]

Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ, г. Братск,

[a]gainutdinov.arslan@gmail.com

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при различных условиях работы, является твёрдость. Твёрдость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твёрдого тела — индентора. Обычно испытания на твердость производятся чаще, чем определение других механических характеристик металлов:

деформации, прочности, относительного удлинения, пластичности и прочее.

Твердостью материала называют способность оказывать сопротивление механическому проникновению в его поверхностный слой другого твердого тела. Для определения твердости в поверхность материала с определённой силой вдавливается тело (индентор*), выполненное в виде стального шарика, алмазного конуса, пирамиды или иглы. По размерам получаемого на поверхности отпечатка судят о твердости материала. Таким образом, под твердостью понимают сопротивление материала местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела – индентора. В зависимости от способа измерения твердости материала, количественно ее характеризуют числами твердости по Бринеллю (HB), Роквеллу (HRC) или Виккерсу(HV).

Существует несколько способов измерения твердости, различающихся по характеру воздействия наконечника. Твердость можно измерять вдавливанием индентора (способ вдавливания), ударом или же по отскоку наконечника – шарика. Твердость, определенная царапаньем, характеризует сопротивление разрушению, по отскоку – упругие свойства, вдавливанием - сопротивление пластической деформации. Перспективным и высокоточным методом является метод непрерывного вдавливания, при котором записывается диаграмма перемещения, возникающего при внедрении индентора, с одновременной регистрацией усилий. В зависимости от скорости приложения нагрузки на индентор твердость различают статическую (нагрузка прикладывается плавно) и динамическую (нагрузка прикладывается ударом).

Таблица 1 – Особенности различных методов измерения твердости.

Методы	**Способ измерения**	**Форма индентора**	**Нагружение F, Н**	**Допустимая шероховатость поверхности Ra**
Бринелля	по диаметру отпечатка	стальной шарик	статическое 24,5 - 29430	1,25 - 2,5
Роквелла	по глубине вдавливания	алмазный конусный наконечник или стальной шариковый	статическое 490,3-1373	0,38 - 2,5
Супер-Роквелла	по глубине вдавливания	алмазный конус или стальной шарик	статическое 147,1-441,3	0,08 - 0,16
Виккерса	по глубине вдавливания или по диагонали отпечатка	алмазный наконечник в форме правильной четырёхгранной пирамиды	статическое 9,807-980,7	0,02 - 0,04
Шора (Монотрон)	по заданной глубине отпечатка	алмазный или стальной наконечник	статическое	0,63 - 1,25

Далее, мы кратко рассмотрим классические методы ***измерения твердости металлов***:

Твердость по методу Бринелля (ГОСТ 9012-59) измеряют вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра под действием заданной нагрузки в течение определенного времени. В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю, обозначаемое HB (при применении стального шарика для металлов с твердостью не более 450 единиц) или HBW (при применении шарика из твердого сплава для металлов с твердостью не более 650 единиц).

Для измерения твердости по методу Бринелля, в нашем каталоге представлен современный **стационарный твердомер ТН-600** и **НВ-3000В**- более улучшенный твердомер, может быть использован для определения твердости закаленных и незакаленных сталей, чугуна, цветных сплавов, мягких материалов для вкладышей подшипников. Все твердомеры сертифицированы в РФ и могут быть применены на производстве.

Твердость по методу Роквелла - твердость, определяемая разностью между условной максимальной глубиной проникновения индентора и остаточной глубиной его внедрения под действием основной нагрузки, после снятия этой нагрузки, но при сохранении предварительной нагрузки. При этом методе индентором является алмазный конус или стальной закаленный шарик. В отличие от измерений по методу Бринелля твердость определяют по глубине отпечатка, а не по его площади. Глубина отпечатка измеряется в самом процессе вдавливания, что значительно упрощает испытания. Нагрузка прилагается последовательно в две стадии (ГОСТ 9013-59): сначала предварительная, обычно равная 10 кгс (для устранения влияния упругой деформации и различной степени шероховатости), а затем основная.

Твердомер Роквелла ТН-320 измеряет разность между глубиной отпечатков, полученных от вдавливания наконечника под действием основной и предварительной нагрузок.
При измерении твердости методом Роквелла необходимо, чтобы на поверхности образца не было окалины, трещин, выбоин и др. Необходимо контролировать перпендикулярность приложения нагрузки и поверхности образца и устойчивость его положения на столике прибора. Расстояние отпечатка должно быть не менее 1,5 мм при вдавливании конуса и не менее 4мм при вдавливании шарика. Толщина образца должна не менее чем в 10 раз превышать глубину

внедрения наконечника после снятия основной нагрузки. Твердость следует измерять не менее 3 раз на одном образце, усредняя полученные результаты.

Твердость по методу Виккерса в поверхность материала вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине равным 136 градусов. После снятия нагрузки вдавливания измеряется диагональ отпечатка. Число твердости по Виккерсу HV подсчитывается как отношение нагрузки к измеренному значению диагонали отпечатка:

Число твердости по Виккерсу обозначается символом HV с указанием нагрузки и времени выдержки под нагрузкой, причем размерность числа твердости (кгс/мм2) не ставится. Продолжительность выдержки индентора под нагрузкой принимают для сталей 10 – 15 с, а для цветных металлов – 30 с.

При измерении твердости по Виккерсу должны быть соблюдены следующие условия:

• плавное возрастание нагрузки до необходимого значения;

• обеспечение перпендикулярности приложения действующего усилия к испытуемой поверхности;

• поверхность испытуемого образца должна иметь шероховатость не более 0,16 мкм;

• поддержание постоянства приложенной нагрузки в течение установленного времени;

• расстояние между центром отпечатка и краем образца или соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка;

• минимальная толщина образца должна быть для стальных изделий больше диагонали отпечатка в 1,2 раза; для изделий из цветных металлов – в 1,5 раза.

Преимущество метода Виккерса по сравнению с методом Бринелля заключается в том, что методом Виккерса можно испытывать материалы более высокой твердости из-за применения алмазной пирамиды.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др. Материаловедение / Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 648 с.: ил.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. Учебник для втузов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 527 с.

3. Фетисов Г.П., Карпман М.К., Матюнин В.М. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для вузов по машин. спец. - 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк. 2006. - 862 с.: ил.

Б.Н. Тукмачев
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск,
gerber1@mail.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Основная стратегическая цель развития и структурного реформирования железнодорожного транспорта Российской федерации состоит в повышении качества и безопасности перевозок при увеличении их объемов и снижении стоимости.

Для решения этих задач предусматривается широкое использование новейших достижений науки и техники, в том числе средств автоматики, вычислительной техники, телемеханики и связи. На железнодорожном транспорте одним из важных направлений является автоматизация процесса контроля технического состояния подвижного состава в пути следования и особенно его ходовых частей.

Вопросы обеспечения высокого уровня безопасности движения с увеличением скорости движения и веса поездов, расстояний их безостановочного следования, уменьшения интервалов между попутно следующими поездами приобретают первостепенное значение. Решение данной задачи не может быть достигнуто без совершенствования традиционных и разработки новых методов контроля поездов в процессе их движения по участкам безостановочного следования.

Безопасность движения поездов в большей степени зависит от проверки технического состояния локомотивов и вагонов до начала их движения в составе поезда и своевременного выявления дефектов, возникающих при движении.

Автоматизированные системы контроля технического состояния подвижного состава позволяют своевременно выявлять и устранять появляющиеся в процессе эксплуатации неисправности ходовых

частей подвижного состава и тем самым предупредить возникновение необратимых отказов, способных привести к авариям и крушениям, увеличить скорости движения поездов, сократить затраты времени на техническое обслуживание составов, увеличить расстояния безостановочного пробега без технического обслуживания вагонов, облегчить условия труда линейных работников вагонного хозяйства.

Специфические условия эксплуатации железнодорожного подвижного состава, многочисленность параметров характеризующих работоспособность узлов, сложность процессов, их взаимодействия друг с другом и случайный характер возникновения неисправностей требуют комплексного решения проблемы автоматизации технической диагностики подвижного состава.

Всё это предопределяет довольно разветвлённую схему классификации средств технической диагностики. Аппаратура представляет собой стационарный комплекс электронных устройств, размещаемый с интервалом 25-35 километров на грузонапряжённых участках, обеспечивая заблаговременную выдачу обслуживающему персоналу станции или локомотивной бригаде информации о наличии и расположении в поезде вагонов с неисправными деталями или узлами.

Самыми современными микропроцессорными системами являются комплексы технических средств КТСМ-02.

Одной из главной подсистемой КТСМ-02 является , определения допустимой нормы температуры буксового узла (риснок.1) колесной пары (рисунок.2). При движение поезда, возникает одна из главных проблем , превышение температуры (перегрева) буксового узла, масляная смазка не справляется с достаточным охлаждением колесной буксы, что приводит к излому шейки колесной пары. Это грозит к сходу с рельс подвижного состава.

Рис.1. Колесная пара ПС

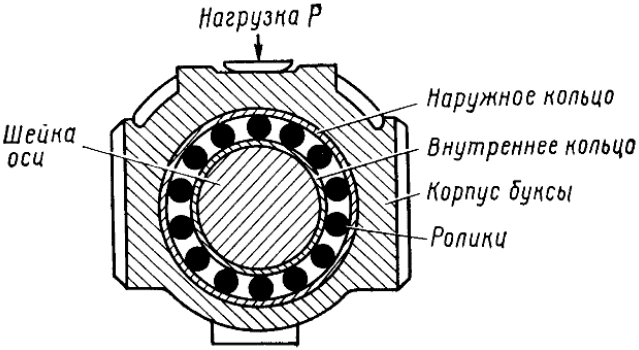


Рис. 2. Буксовый узел колесной пары ПС

Рис. 3. Напольные камеры КТСМ-02 с креплением на рельс

НА данные момент в разработке находится КТСМ-03. В системе КТСМ-03 планируется применение напольной камеры КНМ-90 с оптикой, имеющей угол ориентации к пути и к горизонту 90 градусов, и современный безынерционный охлаждаемый приёмник излучения. Данное решение даст возможность при контроле букс подвижного состава исключить срабатывание аппаратуры под влиянием прямого и отражённого солнечного излучения и, соответственно, избежать необоснованных остановок поездов.

В КТСМ-03 основная часть информации, принимаемой от контролируемого подвижного состава, будет обрабатываться на почтовом уровне, что позволит существенно снизить трафик по существующим каналам связи. В большинстве случаев сеть передачи данных с линейных пунктов контроля не удовлетворяет требованиям к

передаваемой информации и сегодня уже с трудом справляется с заметно возросшей нагрузкой.

В качестве каналов связи для передачи данных предполагается использовать волоконно-оптическую линию связи (ВОЛС), радиоканал или Ethernet.

Это повысит пропускную способность и уменьшит время передачи информации пользователям автоматизированной системы контроля подвижного состава (АСК ПС).

Литература:

1. Большая советская энциклопедия (3 CD, электронный вариант), 2013г.

2. Закон “О безопасности транспорта”, материалы министерства транспорта, 2005г.

3. Федеральный закон №17-ФЗ от 10.01.2003 О железнодорожном транспорте в Российской Федерации (с изменениями от 7 июля 2003 г.)

А.И. Хафизова, Л.В. Круглов

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань,

aliyahi@mail.ru

ТЕПЛООТДАЧА ОТ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА К ПОТОКУ ГАЗА

Промышленные предприятия расходуют огромные количества воды на технические нужды. При использовании образуются загрязненные сточные воды, которые порой бывают очень вредными и могут представлять серьезную угрозу окружающей среде. Существуют различные технологические направления, позволяющие снизить водопотребление и загрязнение водных ресурсов. Одним из перспективных направлений считается разработка и внедрение оборотного водоснабжения, которое позволяет в 10-50 раз уменьшить потребление природной воды [1, 2].

Наибольшее распространение получили открытые системы оборотного водоснабжения с охлаждением воды в градирне. Наиболее эффективными являются испарительные градирни вентиляторного

типа, которые нашли широкое применение, благодаря своей компактности, экономичности и более эффективному охлаждению воды [3].

Модернизация существующих конструкций контактных элементов градирен является одним из перспективных направлений повышения эффективности работы системы оборотного водоснабжения, т.к. охлаждение воды во многом зависит от охлаждающей способности оросителя.

В настоящее время существует огромное множество конструкций оросителей, но все они имеют ряд недостатков: сложность в изготовлении конструкции, плохая смачиваемость поверхности аппарата, малая удельная площадь поверхности контакта.

В связи с этим возникает необходимость создать новые конструкции оросителей, обеспечивающих высокий тепло-массообмен и малое гидравлическое сопротивление. После анализа множества существующих конструкций выявили, что наиболее высокий эффект охлаждения обеспечивает струйно-пленочный оросить. В связи с этим было разработано струйно-пленочное контактное устройство (патент № 171022 РФ).

На разработанном устройстве проводились исследования теплоотдачи от свободной поверхности струйно-пленочного элемента к потоку газа. Исследования были проведены при температуре текучей среды 20°С, температуре стенки 40°С. Жидкостью в данных исследованиях была вода. Ширина сливного стакана равна 60 мм, высота стенки сливного стакана 30 мм. В задачи исследования входило: оценка влияния уровня жидкости в сливном стакане струйно-пленочного контактного устройства на теплоотдачу от свободной поверхности жидкости.

Было выявлено, что наиболее подходящий линейный размер – ширина сливного стакана.

Выявлено, что максимальное значение числа Нуссельта, при любых значениях числа Рейнольдса наблюдается при полностью заполненном сливном стакане (рис. 1). При понижении уровня число Нуссельта существенно снижается. При малых значениях числа Рейнольдса снижение может достигать до 70% при минимальном уровне, а при больших числах Рейнольдса снижение до 40%.

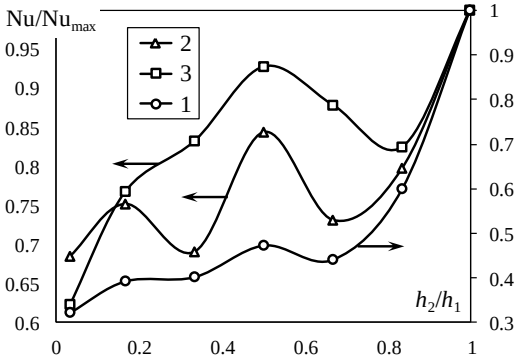


Рис.1. Зависимость изменения отношения числа Нуссельта от уровня жидкости, Re: 1 – 1897, 2 – 7589, 3 – 11383. Текучая среда – воздух.

Научный руководитель: д.т.н. А.В. Дмтриев

Литература:

1. Иванов В.Г. Водоснабжение промышленных предприятий / СПб. : Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 2003. - 536 с.
2. Иванова Т. А., Керечанина Е.Д., Павлов Н.Д. Оборотное водоснабжение в техносфере // Бюллетень научных работ брянского филиала МИИТ – 2015. – № 1(7). – С. 97-99
3. Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Оборотное водоснабжение: (Системы водяного охлаждения) – М.: Стройиздат, 1980. — 168 с/

Д.Д. Шадрин
Братский государственный университет, КУИЦ «Энергетика» БрГУ, г. Братск

СОСТОЯНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Иркутская область занимает 6-е место среди регионов РФ по площади (768 тыс. кв. км), 20-е место по населению (4-е место в СФО) и 62-е место по плотности населения (3,35 чел./кв. км, 6-е место в СФО). Валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения в 2008 году составил 191,8 тыс. руб./чел. (в 2007 г. – 160,5 тыс. руб./чел.). Иркутская область состоит из 33 административных районов, включая 6 районов Усть-Ордынского Бурятского

автономного округа. В области преобладают территории с низким уровнем экономического развития. Наиболее экономически развитые районы сосредоточены в Иркутско-Ангарской зоне, в городах с высоким экспортным потенциалом. Экономическое благополучие области в целом складывается за счет крупных городов, где проживает 54% населения области.

Потребление тепловой энергии в области в 2017 г. составило около 44 млн. Гкал, в том числе потребление тепла населением – 16,3 млн. Гкал. В настоящее время в теплоснабжении области участвуют 13 ТЭЦ АО «Иркутскэнерго», 3 ТЭЦ других ведомств (Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, Братского и Усть-Илимского лесопромышленных комплексов)– 25,5 млн. Гкал, большим количеством котельных (в основном угольных) – 9,4 млн. Гкал, электробойлерными – 2,1 млн. Гкал, теплоутилизационными установками – 7 млн. Гкал. На ТЭЦ сжигается более 8 млн. т у.т., в том числе около 6,5 млн. т у.т. угля, в котельных – 1,73 млн. т у.т.

В отличие от имеющейся достаточно исчерпывающей информации по системам теплоснабжения ОАО «Иркутскэнерго», полную картину по другим теплоисточникам представить достаточно сложно. Это во многом обусловлено тем, что до сих пор продолжается закрытие котельных и передача промышленных котельных в муниципальную собственность. Зачастую информация о таких котельных не попадает в статистическую отчетность и в результате не учитывается В этих условиях перспективное развитие угольной промышленности в области может быть ориентировано только на создание индустрии по глубокой и комплексной переработке углей в ценные продукты на месте добычи.

Иркутская область обладает уникальными запасами углеводородных ресурсов: в ее недрах содержится около 10 млрд.т углеводородов. На территории области открыто, разведано и подготовлено к промышленному освоению крупнейшее в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке Ковыктинское газоконденсатное месторождение с утвержденными запасами категории С1+С2 в объеме около 2 трлн.м3. Несмотря на то что Иркутская область обладает уникальными запасами углеводородов, она по уровню использования качественных видов топлива (газ, мазут) в балансе котельно-печного топлива значительно уступает другим, особенно европейским, районам Российской Федерации (менее 10% против 65-70%). Это негативно сказывается на эксплуатационных затратах, является причиной недопустимо высокого уровня загрязнения окружающей среды. Одним из направлений снижения антропогенной нагрузки в городах и

крупных населенных пунктах области является газификация жилья (с печным отоплением) и сжигание газа в мелких котельных области.

В структуре расхода топлива на производство тепла и электроэнергии около 9 млн. т у.т. потребляется на ТЭЦ и в котельных. На производство тепловой энергии при действующем способе разделения затрат топлива на ТЭЦ расходуется 67%, а на выработку электроэнергии – 33% (в 2 раза меньше, чем на тепло). Всеми электробойлерными установками области в 2016 г. было выработано 2,35 млн. Гкал. На эти цели было израсходовано около 2,8 млрд. кВтч электроэнергии. Средний удельный расход электроэнергии на выработку тепловой энергии составил примерно 1190 кВтч/Гкал

Состояние тепловых сетей Иркутской области. В настоящее время в 11 городах области (Ангарск, Байкальск, Братск, Железногорск, Зима, Иркутск, Саянск, Усолье-Сибирское, Усть-Илимск, Черемхово, Шелехов) действуют теплофикационные системы с одной или несколькими ТЭЦ. Наиболее крупные из них, действующие в Иркутске, Ангарске, Братске, Усть-Илимске, Усолье-Сибирском и Саянске, имеют развитые тепловые сети с радиусами теплоснабжения (расстояние по трассе от источника до конечного потребителя) до 15 км и с диаметрами головных магистралей до 1200 мм. Протяженность тепловых сетей в одной системе измеряется сотнями километров. Общая протяженность тепловых сетей по области составляет сейчас более 3800км (по трассе), из них более половины являются муниципальными .

Для эксплуатации тепловых сетей и котельных в ОАО «Иркутскэнерго» созданы три предприятия тепловых сетей в Иркутске, Ангарске и Братске, причем предприятие «Братские тепловые сети» включает тепловые сети Братска и Усть-Илимска. Эксплуатацией коммунальных теплоснабжающих систем занимаются муниципальные теплоэнергетические предприятия в крупных городах и муниципальные предприятия жилищно-коммунального хозяйства в других населенных пунктах области. Эти предприятия эксплуатируют более 1000 котельных и более 2800 км тепловых сетей (почти 58% всех тепловых сетей области). К настоящему времени в тепловом хозяйстве области сложилась следующая ситуация: коммуникации отслужили свой проектный срок и нуждаются в срочной реконструкции. Исключение, пожалуй, представляет только Братск. При этом не всегда имеется в наличии вся документация, тепловые сети нередко проложены без соблюдения строительных норм и с явными технологическими нарушениями. Кроме того, многолетнее

отсутствие финансирования капитального ремонта лишь усугубили ситуацию

Наиболее актуальными являются вопросы теплоснабжения малых и средних населенных пунктов, особенно в сельской местности. Так, при уровне благоустройства жилищного фонда в крупных городах области 80-100% в малых городах и сельских населённых пунктах централизованным и центральным отоплением от котельных обеспечено около 15% жилого фонда, горячим водоснабжением – около 4%. Таким образом, теплоснабжение малых и средних населенных пунктов требует пристального внимания. Проблемы в сфере теплоснабжения. В сфере обеспечения потребителей тепловой энергией накопилось множество проблем. Они имеются как в крупных системах теплофикации и централизованного теплоснабжения, так и в сфере теплоснабжения от мелких котельных.

Основными являются следующие проблемы:

− Значительный износ оборудования и, как следствие, снижение эффективности, надежности и качества теплоснабжения потребителей. Основное оборудование ОАО «Иркутскэнерго» отработало более 40 лет (дата ввода турбин и котлоагрегатов в пределах 195280 гг.). Срок эксплуатации оборудования станций превысил нормативный ресурс и нуждается в замене.

− Физический износ и необходимость модернизации и замены оборудования котельных области. Основную их долю составляют котельные малой мощности (96% котельных). Как правило, они отличаются неудовлетворительным техническим состоянием. Замена поверхностей нагрева и котлов в целом производится в недостаточном объеме и не устраняет негативную тенденцию старения оборудования. Котельные отличаются низкой экономичностью и изношенностью. − Отсутствие средств механизации и автоматизации работы котельного оборудования. До сих пор в мелких котельных используется ручной немеханизированный труд. Коэффициент полезного действия таких котельных фактически составляет 30-58%, вместо 70-80% по паспорту, что снижает их располагаемую мощность, приводит к существенному перерасходу топлива (на 30-40%), повышению тарифов и ухудшению экологической обстановки в населенных пунктах.

− Отсутствие систем автоматики и регулирования в тепловых сетях и установках потребителей не позволяет организовать эффективные режимы работы систем в течение отопительного периода и является одной из основных причин больших непроизводственных потерь тепла при его транспортировке и потреблении.

− Значительный износ и старение тепловых сетей ведет не только к постоянному увеличению тепловых потерь, но и к нарастанию количества аварий с массовыми отключениями зданий и нарушением работы местных систем теплопотребления.

− Отсутствие систем измерения и учета производства и потребления тепловой энергии. Отсутствие учета потребляемого тепла у потребителей не создает стимулов для экономного расходования тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение. В результате фактические расходы тепла превышают нормативные, а достоверные данные о тепловых нагрузках и фактическом потреблении тепла отсутствуют.

− Несовершенство тарифной политики, ее социальная направленность, которая не обеспечивает реальных финансовых потребностей организаций коммунального комплекса в модернизации объектов коммунальной инфраструктуры и не формирует стимулы к сокращению затрат. Действующая система тарифного регулирования и договорных отношений в коммунальном комплексе обусловливает высокие инвестиционные риски и препятствует привлечению средств внебюджетных источников в этот сектор экономики.

Принципы и направления развития и совершенствования систем теплоснабжения. Основными принципами развития теплоснабжения в Иркутской области в рассматриваемой перспективе должны стать:

1) повышение надежности и эффективности теплоснабжения потребителей;

2) существенное улучшение состояния воздушного бассейна населенных пунктов;

3) максимально эффективное использование возможностей теплофикации и когенерации;

4) выбор наиболее экономичных вариантов развития систем теплоснабжения населенных пунктов.

Основные положения перспективной политики теплоснабжения Иркутской области, обеспечивающей реализацию сформулированных выше принципов его развития и учитывающей существующее состояние и особенности энергетики территории, по нашему мнению, должны состоять в следующем:

1. Предпочтительным стратегическим направлением развития теплоснабжения в регионах является теплофикация на базе сооружения экологически чистых ПГУ и ГТУ ТЭЦ малой и средней мощности на твердом и газовом топливе.

2. Роль газа в преодолении негативных тенденций в тепловом хозяйстве Иркутской области менее существенная, чем для страны в целом. Однако необходимо использовать возможности вовлечения в сферу теплоснабжения природного газа рентабельных нефте-, газовых месторождений регионов. Наиболее эффективным является использование газа для мелких потребителей. Это позволит уменьшить число неэкономичных угольных котельных, а также обеспечить широкое применение конденсационных отопительных котлов с малой производительностью (0,1-5 Гкал/ч).

3. Для обеспечения надежного и экологически приемлемого теплоснабжения городов от крупных действующих тепловых систем снабжения необходимо увеличить их мощности и довести системы очистки дымовых газов на установленном оборудовании до состояния, удовлетворяющего современным требованиям. Прирост тепловых нагрузок этих городов может удовлетворяться от районных газовых или угольных котельных с соответствующими системами очистки дымовых газов. Целенаправленное строительство крупных котельных будет препятствовать также возникновению мелких ведомственных котельных.

4. Приведение действующих систем теплоснабжения крупных городов в соответствие с техническими нормами надежности, требующее изменения структуры уменьшение радиусов теплоснабжения действующих крупных источников тепла и ввод новых источников, изменение принципов построения тепловых сетей и др.) должно осуществляться при разработке новых схем теплоснабжения городов путем принятия решений с помощью современной методической и вычислительной базы.

5. Использование древесных отходов для обеспечения тепловой энергией объектов лесозаготовительной и лесоперерабатывающей промышленности регионов может реально вытеснять завозимое на эти объекты главным образом жидкое топливо.

6. Для реализации стратегического перехода к сооружению современных средних и малых ТЭЦ и эффективных котельных изолированное рассмотрение только систем централизованного теплоснабжения крупных городов необходимо заменить комплексным решением вопросов теплоснабжения населенных пунктов в рамках промышленно-жилых агломераций. Кризисное состояние коммунальной теплоэнергетики Иркутской области повышает вероятность возникновения крупномасштабных аварийных ситуаций, снижает надежность теплоснабжения населенных пунктов и ведет к разбалансированности экономики отрасли.

Изменение ситуации в сторону повышения экономической и энергетической эффективности объектов коммунальной теплоэнергетики требует значительных капитальных вложений, инвестирование которых должно носить плановый, системный характер. Приведенный анализ состояния теплоэнергетики Иркутской области позволил выявить ряд ключевых проблем, которые требуют немедленного решения, так как в связи с достаточно суровыми климатическими условиями Иркутской области, где отопительный сезон длится 258 суток в году, проблемы обеспечения населения и промышленности тепловой энергией по своей значимости стоят в том же ряду, что и проблемы обеспечения населения продовольствием.

Ранее в работе были предложены модели формирования программ капитального ремонта и реконструкции объектов теплоснабжения, а также ряд мероприятий:

1. Разработать программу реконструкции всех тепловых источников энергии, которая должна обеспечить не только замену оборудования, выработавшего свой ресурс, но и существенно повысит их КПД (это касается в первую очередь котельных, находящихся в муниципальной собственности).

2. Разработать программу замены, перетрассировки и реконструкции тепловых сетей.

3. Определить предельные уровни теплопотребления региона в зависимости от реализации различных сценариев экономического развития региона.

4. Разработать критерии экономической целесообразности перевода ТЭЦ и котельных на газ в качестве основного вида топлива.

Однако в этой работе не достаточно полно определены критерии выбора объектов для реконструкции и перевода на газ как с технической, так и с социальной точки зрения, кроме того, предложенные модели не расставляют приоритеты, не определяют, в какой очередности необходимо осуществлять реконструкцию в рамках ограниченного бюджета. По нашему мнению, необходимо дальнейшее обсуждение данной проблемы, которое позволит сформировать систему объективных критериев, учитывающую не только техническое состояние, но и социальную значимость, а также возможные риски в случае выхода из строя конкретных объектов. Затем, используя новую объективную систему критериев, разработать программу реконструкции, точно определяющую, какие конкретно объекты, в какой последовательности, в какие сроки подлежат ремонту, какие ресурсы необходимы для её выполнения и какова возможная цена срыва её реализации. Разработка такой программы позволит

определить минимально необходимые объёмы финансирования для поддержания тепловых систем снабжения в рабочем состоянии, определить необходимые объёмы финансирования для развития и эффективной эксплуатации, определить источники финансирования.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Федяева

Литература:

1. «Генеральная схема газификации и газоснабжения Иркутской области» разработана ОАО «Газпром промгаз» в 2004-2005 гг. по договору с ОАО «Газпром» от 06.09.04 № ПЭ 0731-04-2 в рамках Соглашения о сотрудничестве между ОАО "Газпром" и Администрацией Иркутской области от 10.02.04 г. 2
2. Корректировка генеральной схемы газоснабжения и газификации Иркутской области // Общая пояснительная записка. М., 2009., 120 с.
3. Областная государственная целевая программа развития коммунальной теплоэнергетики Иркутской области до 2006 г., http://www.sibfo.ru/project/files/programma_irk.doc
4. Программа развития топливно-энергетического комплекса Иркутской области на период до 2030 г. / под ред. Б.Г. Санеева. Иркутск, 2007. 177 с.
5. Программа социально-экономического развития Иркутской области на 2006-2010 годы. Иркутск: Изд-во БНУП, 2007. 360 с.
6. Семенов М.А., Черняк И.С. Ремонт объектов региональной тепловой энергетики с использованием экономикоматематических моделей линейного программирования // Вестник ИрГТУ. 2008. № 11. С. 95-104.
7. Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. №1234-р. М., 2003. 118 с.

Е.С. Шипика, С.Г. Гендлер
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург
sgendler@mail.ru

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОДОГРЕВЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Подземная добыча угля в России, в основном, осуществляется в регионах с суровым климатом, что определяет необходимость подогрева наружного воздуха зимой перед подачей его в горные выработки. При необходимых для проветривания шахт количествах воздуха, достигающих 500 $м^3/с$ и более, его температуре на поверхности - 20 ^{0}С – -25 ^{0}С, тепловая мощность калориферных установок может достигать 17 – 22 мВт, при этом, температура используемого для подогрева наружного воздуха теплоносителя будет составлять 60 ^{0}С– 120 ^{0}С. Энергетические затраты такой величины приводят как к повышению себестоимости добычи угля, так и к ухудшению экологической обстановки в тех районах, где для выработки тепловой или электрической энергии используется в качестве топлива уголь.

Альтернативой традиционным источникам энергии являются, так называемые, природные, возобновляемые источники, в частности атмосферой воздух, солнечная энергия, энергия ветра, тепловая энергия, аккумулированная в гелиотермозоне и поверхностном слое гидросферы (морская, речная и озерная вода) и литосферы (термальная вода и горные породы) энергия) [9], а также добываемые попутно с углем газообразные энергоносители (рис. 1) [6].

Выше перечисленные источники энергии могут быть применены в системах подогрева воздуха или непосредственно или в качестве теплоносителя, используемого в традиционных теплотехнических системах (калориферы, теплообменники и т.п.).

Непосредственное использование теплоты поверхностных или шахтных вод возможно при организации их прямого контакта с наружным воздухом, при котором за счет выделения теплоты замерзания воды осуществляется подогрев воздуха до температур, близких к нулевому значению. Способы, реализующие этот принцип подогрева воздуха, предполагают применение гидрокалориферных установок, воздухо-подогревающих траншей и т.п. [10]. Как показал практический опыт, в случае использования данных способов необходим дополнительный подогрев воздуха до положительных температур с помощью традиционных методов [10]. Кроме того, в

процессе работы установок, основанных на данных способах, образуются значительные объемы льда, негативно влияющих на состояние окружающей среды [10].

Рис. 1. Классификация природных источников энергии [8]

При использовании теплотехнических систем наиболее технически доступными и экологически безопасными природными источниками энергии следует считать атмосферный воздух и шахтную воду, которую извлекают на поверхность из системы водоотлива. В технической литературе эти источники энергии получили название низкопотенциальных источников.

Для этой цели, как свидетельствует теоретические оценки и практический опыт, может быть применена теплонасосная технология [2, 3, 4].

Принципиальная схема теплового насоса предполагает наличие испарителя, в который поступает низкопотенциальный теплоноситель (атмосферный воздух или шахтная вода), компрессора, где осуществляется сжатие паров рабочего тела (аммиак, различного типа хладоны) и конденсатора, в котором теплота, отдаваемая низкопотенциальным теплоносителем рабочему телу в испарителе, и мощность, подводимая к компрессору$\left(N_{h.\rho.}\right)$, передаются в

конденсаторе теплоносителю (воде), поступающей в калорифер, а также дроссельный клапан для расширения рабочего тела (рис. 2) [7].

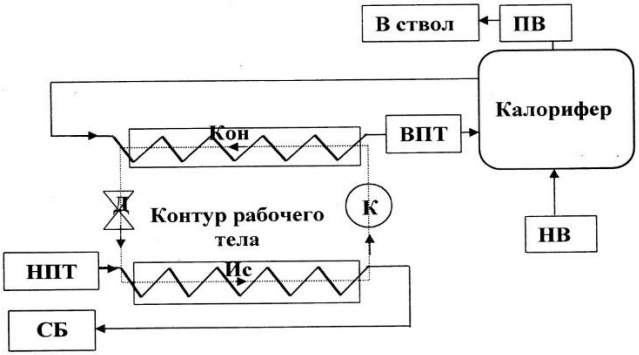


Рис. 2. Принципиальная схема использования теплового насоса для подогрева наружного воздуха (Ис – испаритель, Кон – конденсатор, К – компрессор, Д- дроссельный клапан, НПТ- низко потенциальный теплоноситель, ВПТ – высоко потенциальный теплоноситель, СБ- система сброса, НВ - наружный воздух, ПВ - подогретый воздух)

При подогреве наружного воздуха с помощью шахтной воды, несмотря на то, что использование шахтной воды может потребовать ее предварительной очистки в связи с возможным загрязнением грубодисперсными примесями (частицы породы, глины, песок, дробленый крепежный лес и т. п.), минеральными солями (хлориды, сульфаты, силикаты), а также катионами тяжелых металлов (меди, никеля, цинка, свинца, железа, кобальта, молибдена, вольфрама и др.) [1], величина ее объемной теплоемкости, превышающая в $(2{,}7 – 3)\cdot 10^3$ раз объемную теплоемкость наружного воздуха, делает отбор теплоты от нее в испарителе теплового насоса энергетически целесообразным.

В системах подогрева наружного воздуха шахтная вода и метан могут использоваться индивидуально, или в сочетании друг с другом. В случае комбинированной системы использования теплоты шахтной воды и теплоносителя, получаемого при сжигании горючего газа, возникает возможность для рационального комплексирования этих источников с целью достижения максимального энергетического и экономического эффекта.

В системах подогрева наружного воздуха шахтная вода и метан могут использоваться индивидуально, или в сочетании друг с другом. В случае комбинированной системы использования теплоты шахтной воды и теплоносителя, получаемого при сжигании горючего газа,

возникает возможность для рационального комплексирования этих источников с целью достижения максимального энергетического и экономического эффекта.

При расходах подогреваемого воздуха и шахтной воды, изменяющихся соответственно в интервалах 50 м3/с – 500 м3/с и 100 м3/ч – 600 м3/ч, расчетное соотношение между мощностями теплового насоса и калорифера, обеспечивающего подогрев наружного воздуха от температуры окружающей среды до нормативной температуры, равной 40С, в зависимости от отношения расходов шахтой воды и наружного воздуха, представлено на рис. 3 [5, 9].

Принципиальная схема установки для подогрева наружного воздуха на основе использования теплоты шахтной воды и теплотворной способности метана представлена на рис. 3 [5, 9].

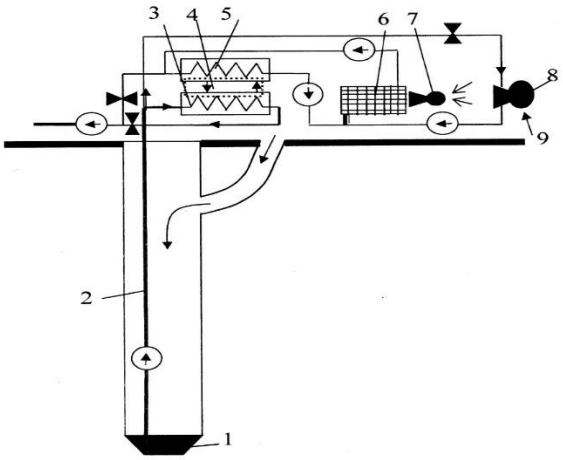


Рис. 3. Схема подогрева наружного воздуха за счет теплоты шахтной воды и теплоты сжигания метана [6]:
1 - зумпф с шахтной водой; 3 - испаритель теплового насоса (ТН); 4 - конденсатор теплового насоса; 5 -хладагент теплового насоса; 2 - трубопровод для откачки шахтной воды; 6 - водяной калорифер; 7 - вентилятор; 8 - теплогенератор; 9 - источник метана

Функционирование установки осуществляется следующим образом. Холодный атмосферный воздух подается вентилятором в водяной калорифер, где подогревается водой, поступающей из теплогенератора и конденсатора теплового насоса, до нормативной температуры. Шахтная вода поступает в конденсатор теплового насоса

с разрабатываемого горизонта по трубопроводу, расположенному в стволе с помощью водяного насоса. В испарителе теплового насоса шахтная вода отдает свою теплоту рабочему телу и охлаждается до температуры 4 ^{0}С – 5 ^{0}С, после чего одна ее часть направляется на вход теплогенератора, а вторая - сбрасывается в близлежащие водные объекты [5, 9].

В теплогенераторе за счет теплоты сгорания метана, дренируемого из разрабатываемого угольного пласта, вода подогревается до необходимой температуры и далее поступает на вход водяного калорифера, где смешивается с водой из конденсатора теплового насоса. После использования воды из теплогенератора и конденсатора для подогрева воздуха, часть воды вновь поступает в конденсатор, где температура воды повышается до требуемой величины. Другая часть, аналогично воде из испарителя, сбрасывается в близлежащие водные объекты. Достижение необходимого распределения расходов шахтной воды между испарителем теплового насоса, теплогенератором и сбросом осуществляется с помощью насосов и регулирующих заслонок [5, 9].

Таким образом, наиболее перспективными природными источниками теплоты для подогрева наружного воздуха, используемого для проветривания угольных шахт, следует считать комбинированную систему - шахтную воду и метан, дренируемый из разрабатываемых угольных пластов.

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.Г. Гендлер

Литература:

1. Физико-химические основы технологии деминерализации шахтных вод: Монография /[Гребенкин С.С., Костенко В.К., Матлак Е.С. и др.]; под общ.ред. Костенко В.К. - Донецк: "ВИК", 2008. - 287 с.

2. Горожанкин С. А., Выборнов Д. В., Монах С. И.Тепловая схема источника теплоснабжения с теплонасосной установкой на шахтной воде// Вестник АГТУ. 2013. № 2 (56). С.15-20.

3. Закиров Д. Г., Рыбин А. А. Энергосберегающая технология с утилизацией низкопотенциальной теплоты // Промышленная энергетика. 1994. № 6.

4. Утилизация низкопотенциального тепла шахтных вод – перспективное направление энергосбережения угольной отрасли/ Д. Г.Закиров, И. Х.Нехороший, А. Н.Малахов, Л.Ф.Дружинин // Уголь. 2000. № 11.

5. Гендлер С.Г., Ковшов С.В., Шипика Е.С.Установка для подогрева наружного воздуха:пат. РФ №2016149908; заявл. 19.12.2016. // Патент России № 171440, 31.05.2017. Бюл. № 16.

6. Портола В.А. Эффективность подогрева воздуха в шахтах путем прямого сжигания метана// Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. №2. С.62-64.

7. Тимофеевский Л.С. Холодильные машины//**Изд.** Политехника. 1997. 499 с.

8. Шипика Е.С. Гендлер С.Г. Основные направления использования природных источников энергии для подогрева наружного воздуха в угольных шахтах. Промышленная безопасность предприятий в минерально сырьевом комплексе в XXI веке// ГИАБ (научно-технический журнал). MiningInformationalandanalyticalbulletin (scientificandtechnicaljournal). 2017. № 4 (спец. выпуск 5/1). С.228-235.

9. Гендлер С.Г., Шипика Е.С. Перспективы использования природных источников энергии для подогрева наружного воздуха на угольных шахтах. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып.4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017, С.283-293.

10. Шувалов Ю.В. Регулирование теплового режима шахт и рудников Севера// Изд. ЛГУ, 1988. 192 с.

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Руководитель секции
зав. кафедрой Управления в технических системах
канд. техн. наук, профессор И.В. Игнатьев

А.Ю. Бобылев
Братский государственный университет, г. Братск,
feia@brstu.ru

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ САР ДАВЛЕНИЯ НА ВЫХОДЕ МАГИСТРАЛЬНОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТА

Целью работы является исследование и анализ настроечных параметров регулятора давления на выходе магистрального насосного агрегата на нефтеперекачивающей станции. Выбор оптимальных настроечных параметров необходим для автоматизации и модернизации производственного процесса, уменьшения износа оборудования и улучшения экономической составляющей.

В ходе работы были применены следующие методы исследования: идентификация объекта управления методом Симою, анализ законов регулирования.

Под идентификацией понимают определение структуры и параметров математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных координат (сигналов) модели и объекта при одинаковых входных воздействиях (сигналах).

Построили исходную экспериментальную переходную характеристику объекта (рис. 1.), которая в полной степени отображает динамику переходного процесса в системе автоматического регулирования давления на выходе магистрального насосного агрегата.

Расчеты по идентификации объекта методом Симою были выполнены с помощью специализированного программного обеспечения ТАУ 2.1.

В ходе расчетов была получена переходная характеристика. Следующим шагом идентификации является определение передаточной функции (рис.2.).

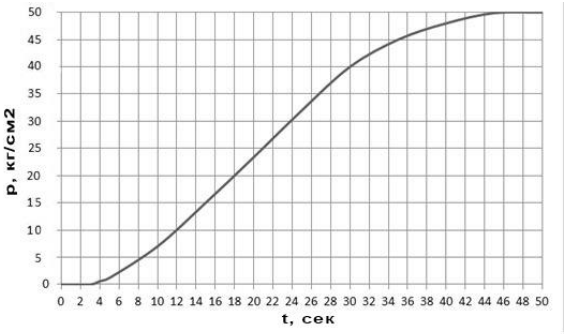


Рис.1. Экспериментальная переходная характеристика объекта управления

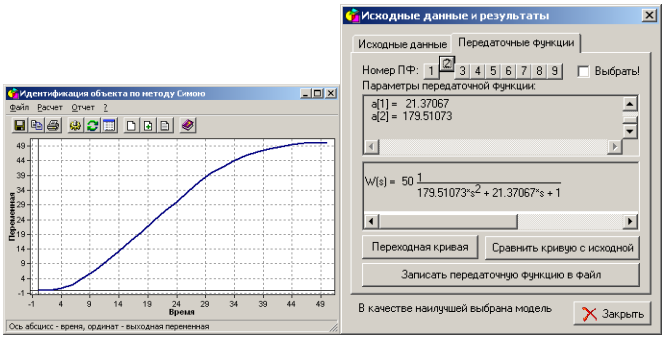


Рис.2. Расчетный график, Передаточные функции

Получили расчетную и экспериментальную характеристики (рис. 3).

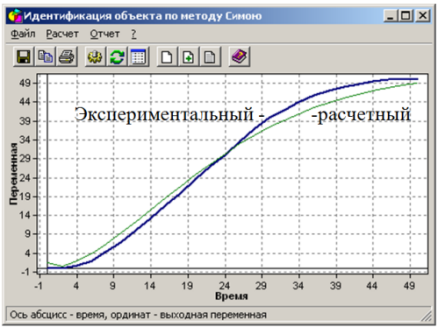


Рис. 3. Сравнение расчетной и экспериментальной характеристик

Определили ошибку идентификации. Модель объекта вида

$$W(p) = \frac{50e^{-3p}}{179{,}51073p^2 + 21{,}37067p + 1}$$

была определена с точностью 4,9%, что допускается в инженерных расчетах, метод является точным.

В работе был проведен анализ законов регулирования, построили переходные характеристики замкнутой системы. Для этого исследовали разные виды законов регулирования. Настроечные параметры для каждого закона были найдены с помощью программного обеспечения Matlab (модуль Simulink), используя автонастройку параметров регулирования. Переходные характеристики для различных законов регулирования представлены на рис. 4-8.

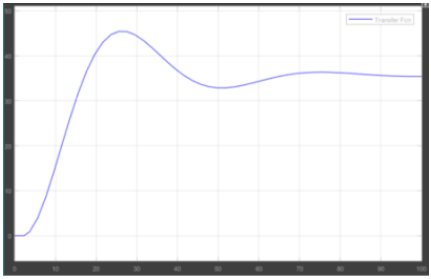


Рис.4. Переходная характеристика замкнутой системы с применением П - закона регулирования

Использование П – регулятора приводит к статической ошибке отклонения параметра от заданного значения давления - 50кг/см2 (рис. 4.).

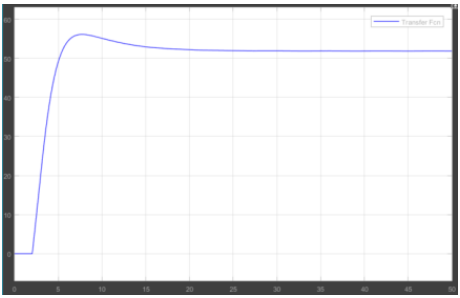


Рис.5. Переходная характеристика замкнутой системы с применением ПД – закона регулирования

Использование ПД – регулятора улучшает время регулирования, но не уменьшает отклонение параметра от заданного значения (рис.5.).

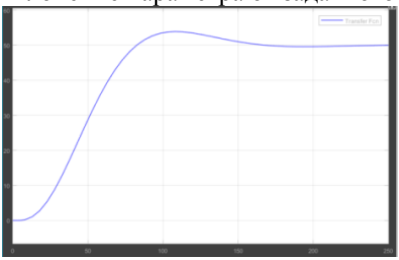


Рис.6. Переходная характеристика замкнутой системы с применением И – закона регулирования

И – закон регулирования устраняет статическую ошибку, но увеличивает время регулирования (рис.6.).

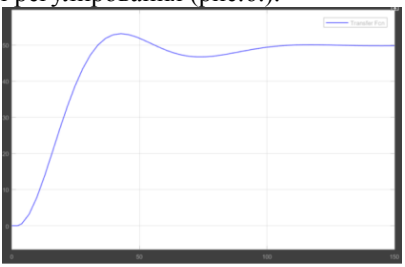


Рис. 7. Переходная характеристика замкнутой системы с применением ПИ – закона регулирования

ПИ – закон регулирования улучшает показатели качества переходного процесса: время нарастания переходного процесса - 33 сек, время переходного процесса - 29 сек (рис.7.).

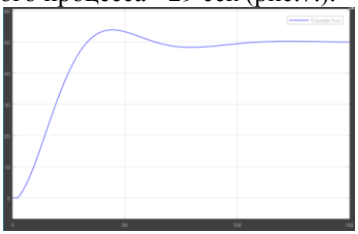


Рис.8. Переходная характеристика замкнутой системы с использованием ПИД – закона регулирования

Оптимальными настроечными параметрами, исходя из расчетов качества переходных характеристик, обладает ПИД – закон

регулирования, т.к. время переходного процесса - 27 сек, перерегулирование - 7,6%, число колебаний - 1, колебательность переходного процесса - 92,6%, частота колебаний - 0,086, время достижения первого максимума - 42,3 сек, время нарастания переходного процесса - 31,5 сек, степень затухания - 0,074, интегральная оценка качества - 1055 (рис.8.).

После проведения исследования и анализа системы автоматического регулирования давления на выходе магистрального насосного агрегата были найдены оптимальный закон регулирования и настроечные параметры регулятора.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.А. Григорьева

Литература:

1. Григорьева Т.А., Шуманский Э.К. Многофакторный корреляционно-регрессионный анализ технологических параметров сушки целлюлозы// Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2016. Т. 2. С. 134-138
2. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Выбор программируемых контроллеров в современном производстве//Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 269-271.
3. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Система сбора и представления информации об учете энергоресурсов //Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2006. Т. 2. С. 73-75.
4. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Выбор преобразователей давления в современных системах автоматического регулирования// Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2015. Т. 2. С. 54-58.
5. Григорьева Т.А. Управление динамическими свойствами в теплоэнергетических системах //Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 1. С. 54-58.
6. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Автоматизированные системы управления на базе ПТК «ТЕКОН» //Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 271-274.
7. Т.А. Григорьева, В.Н. Толубаев: Автоматизация технологических процессов и производств: учебно-методическое пособие. - Братск: Изд-во БрГУ, 2017. – 107 с.

В.Ю. Готовцев, Д.И. Игнатьев, А.В. Бойко
Братский государственный университет, г. Братск
uts@brstu.ru

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ

Основная цель управления системами отопления в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) заключается в стабилизации на требуемом уровне температуры воздуха помещений зданий при квазистационарном режиме работы системы отопления, позволяющий обеспечить минимальные затраты тепловой энергии. При этом под квазистационарным режимом понимается постоянство теплового и гидравлического режимов с непрерывно изменяющимися внешними факторами, влияющими на стационарную работу системы.

Для управления гидравлическим и тепловым режимами системы отопления её необходимо автоматизировать, а количество подаваемого тепла регулировать в соответствии с нормативными требованиями. Известно, что наибольшее количество тепла расходуется на отопление зданий. Отопительная нагрузка зависит от температуры наружного воздуха. Для регулирования отпуска тепла применяют в основном центральное регулирование на теплоисточниках. Добиться высокого качества теплоснабжения, применяя только центральное регулирование, не удается, поэтому на индивидуальных тепловых пунктах и у потребителей должно применяться дополнительное регулирование.

Следует отметить, что существующие системы отопления были спроектированы в условиях социалистического хозяйства при плановой экономики, что в значительной степени предопределило их низкую энергетическую эффективность в новых условиях. Основной функциональной задачей, которая ставилась перед системой отопления, являлось нормативное обеспечение теплом потребителей в соответствии с температурным графиком. В рыночных условиях основной задачей является обеспечение возможности самим потребителям регулировать расход тепла при обязательном коммерческом учете потребленной энергии. Так оперативное управление в ИТП может обеспечить повышение комфортности внутриобъектного климата за счет исключения «перетопов» и компенсации «недотопов» и поддержания устойчивого гидравлического режима, при этом общая экономия теплоты при применении оперативного управления может составить до 60% годового расхода.

Из вышесказанного следует, что управление в ИТП является необходимым фактором качественной и экономически целесообразной работы системы отопления.

Для реализации такого управления необходимо решение следующих задач.

1) Оценка эффективности существующих технологических решений управления системами отопления в ИТП.

Основными теплопотребляющими установками тепловых сетей являются установки отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. От схем присоединения абонентов к тепловым сетям и установленных регуляторов во многом зависит качество теплоснабжения, а также такие важные параметры работы сетей как удельные расходы сетевой воды и ее температура в обратном трубопроводе.

Анализ существующей технологической структуры построения систем централизованного теплоснабжения, схем тепловых сетей и абонентских вводов, а также конструкций применяемого в системах отопления оборудования показывает, что они не в полной мере отвечают современным требованиям, предъявляемым к объектам управления.

Современные крупные системы теплоснабжения обслуживают сотни, а часто и тысячи абонентов, которые имеют разнородную и переменную во времени тепловую нагрузку. Отапливаемые здания, построенные в разное время, имеют значительные расхождения в удельных теплотехнических характеристиках. Для ИТП этих зданий характерно несовершенство схемных и конструктивных решений:

- отсутствие средств учета и регулирования потребляемых энергоресурсов;
- непосредственное подключение систем отопления к тепловым сетям без промежуточных узлов управления, что снижает маневренность и гибкость системы;
- использование устаревшего теплотехнического оборудования;
- недостаточный уровень технической эксплуатации, вызывающий «перетопы» в зданиях из-за несбалансированности теплогидравлических режимов в системах отопления.

Очевидно, что в этих условиях достаточно сложно обеспечить требуемые условия микроклимата во всех помещениях без оперативного управления системами отопления в ИТП.

В условиях повсеместного отсутствия приборов учета потребляемых энергоресурсов абоненты не имеют материальных стимулов к их экономии, так как оплата за тепловую энергию

совместно со сверхнормативными потерями в тепловых сетях перекладывается автоматически на плечи потребителей. Регулирование температуры внутреннего воздуха в продолжительные периоды «перетопа» осуществляется, как правило, «форточкой», а при «недотопе» – бытовыми электрическими или газовыми плитами, что приводит к ухудшению качества внутреннего воздуха.

Таким образом, исторически сложившиеся условия развития систем теплоснабжения обусловили крайне нерациональное потребление тепловой энергии; при этом в зданиях в течение достаточно длительных периодов времени наблюдается неудовлетворительный уровень комфорта.

2) Определение вектора управления, на основе динамических и статических свойств систем отопления.

Данную задачу необходимо рассматривать как совокупность частных подзадач, которые вытекают из особенностей и степени сложности систем отопления и процессов их регулирования, а именно:

- стабилизация параметров объекта управления и повышение запаса его устойчивости;
- обеспечение необходимой точности воспроизведения воздействий в установившемся режиме;
- обеспечение заданного качества переходного режима.

Для осуществления оптимальных принципов и режимов регулирования отпуска теплоты необходимо разрабатывать новые подходы к управлению системами отопления, которые должны удовлетворять главным требованиям:

- поддержание заданной температуры воздуха внутри помещения;
- выполнение гидравлического режима;
- обеспечение теплового режима;
- уменьшение расхода теплоты на отопление.

3) Получение многопараметрической модели системы отопления по экспериментальным данным.

В задачах оперативного управления современными процессами теплоснабжения одной из центральных является проблема моделирования систем отопления, требующая исследования сложных количественных закономерностей их работы. При создании модели систем отопления возникает обратная задача математического моделирования – идентификация объекта, которая заключается в получении математического описания по экспериментальным

входным и выходным сигналам. При этом математическое описание должно учитывать многоконтурность и многосвязность систем.

Для решения вышеперечисленных задач необходимо выполнение следующих этапов, которые представлены на рис. 1.

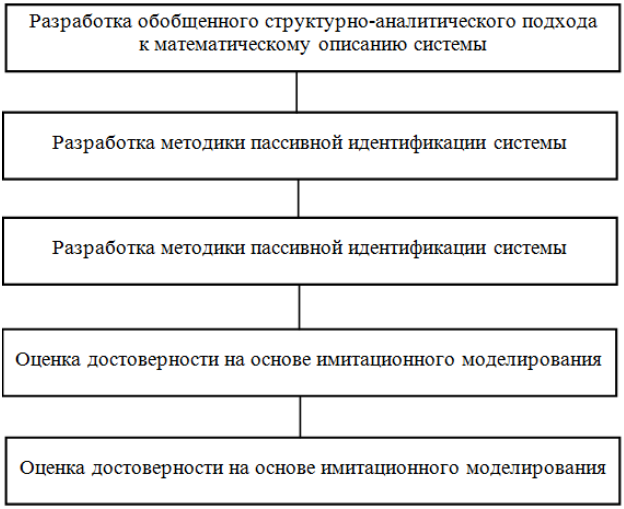


Рис. 1. Этапы синтеза многопараметрической системы отопления

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Семенов

Литература:

1. Семенов Д.С. Автоматическое регулирование системы отопления индивидуального теплового пункта // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2006. – № 4. – С. 26–28.

2. Дьяконица С.А., Семенов Д.С. Разработка математической модели системы отопления для управления ее динамическими свойствами // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 191–197

3. Дьяконица С.А., Семенов Д.С. Программно-аппаратный комплекс по идентификации и синтезу управления системой отопления Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2009. Т. 1. С. 36-41.

А.С. Зуева, Ю.А. Леонов
Брянский государственный технический университет, г. Брянск,
nastermaster@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ DOM-МОДЕЛИ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ WINDOWS PHONE STORE

Исследование DOM-модели интернет-магазина мобильных приложений Windows Phone Store проводится в рамках разработки информационно-аналитической системы (ИАС) анализа динамики продаж интернет-магазинов мобильных приложений.

Рынок мобильных приложений в настоящий момент стремительно развивается. Общемировой доход рынка за 2016 год по разным оценкам составляет от 55 до 65 млрд долларов [1].

Наиболее сложной задачей в данной области является определение актуальных потребностей пользователей продукции. Решением данной задачи занимаются специалисты в области аналитики и маркетинга, используя инструментарий специализированных информационно-аналитических систем (ИАС) [2].

Таким образом, разработка ИАС для проведения комплексного анализа динамики продаж интернет-магазинов мобильных приложений является актуальной задачей.

В результате разработки должна быть создана информационно-аналитическая система анализа динамики продаж интернет-магазинов мобильных приложений, которая позволит осуществлять мониторинг, сбор, актуализацию и анализ информации о мобильных приложениях.

Сервисами распространения мобильных игровых приложений являются интернет-магазины приложений, такие как Windows Phone Store, Google Play, App Store и другие.

Каждый интернет-магазин, как правило, предоставляет основную информацию о приложении (название, тематика, рейтинг, число скачиваний и т.п.) и информацию об общем объёме продаж данного приложения. В результате обработки такой информации аналитик получает возможность отслеживать корреляцию между отдельно взятой характеристикой приложения и объёмом продаж за определённый период времени, и тем самым выявлять актуальные потребности пользователей. Данные сведения позволяют создавать продукцию, которая будет пользоваться спросом у потребителей.

С целью определения совокупности характеристик мобильных приложений интернет-магазина Windows Phone Store, информация о которых может быть использована при анализе динамики продаж

интернет-магазинов приложений, было проведено исследование DOM-модели интернет-магазина Windows Phone Store.

Список аналитических результатов, которые могут быть получены на основе анализа значений характеристик приложений или анализа значений совокупности характеристик приложений, не является исчерпывающим. В статье приводятся основные аналитические результаты и описывается их практическая применимость в контексте разработки мобильных приложений.

Интернет-магазин мобильных приложений Windows Phone Store предоставляет информацию о названии мобильного игрового приложения. Лингвистический анализ данной информация позволит определить семантические и фонетические особенности названий популярных приложений. В свою очередь, информация о выявленных особенностях позволит создать алгоритм генерации такого названия приложения, которое будет способствовать ускорению роста популярности приложения.

Адресная строка web-страницы приложения содержит id приложения. В результате анализа структуры web-сайта Windows Phone Store был сделан вывод о том, что id приложения уникально для каждого приложения. Таким образом, информация об id приложения может быть использована для идентификации приложения в базе данных (БД) ИАС.

Windows Phone Store содержит сведения о разработчике приложения. Данная информация даёт возможность анализировать приложения от одного разработчика. Это позволит выявлять общие закономерности разработки, которые ведут к высокой или низкой популярности приложений. Кроме того, анализ тематической близости приложений позволит сделать вывод о том, следует ли разработчикам специализироваться на развитии одной тематической области или для повышения совокупного объёма продаж необходимо выбирать несколько направлений.

Windows Phone Store содержит информацию о рейтинге приложений. Статистический анализ данной информации позволит выявить факторы, влияющие на оценку приложений пользователями, и исследовать корреляцию между рейтингом приложения и другими характеристиками приложения. Данная информация позволит не только разработать рекомендации по повышению рейтинга приложения, но и определить степень влияния рейтинга на популярность (выражаемую количеством оценок приложения) и объём продаж приложения.

Помимо информации о рейтинге, который складывается из оценок приложения пользователями, web-страницы приложений содержат информацию о количестве оценок приложения. Данная информация является косвенным показателем степени популярности приложения. Статистический анализ значений данного показателя даёт возможность определить зависимость степени популярности приложения от значений отдельных характеристик приложений.

На web-странице каждого приложения указывается стоимость загрузки приложения. В случае, если приложение является бесплатным для скачивания, на web-странице размещается информационный блок с текстом «Бесплатно». Данная информация позволяет определить корреляцию между стоимостью и рейтингом приложения; выяснить, насколько повышение стоимости влияет на снижение популярности. Дополнительно имеется возможность сравнить объём продаж платных приложений и бесплатных приложений. Объём продаж приложений складывается из стоимости внутриигрового контента и доходов от встроенной в приложение рекламы. Платные приложения получают дополнительный доход от каждой загрузки. Однако бесплатные приложения потенциально могут получить больший доход от продажи внутриигрового контента и встроенной рекламы, поскольку число пользователей таких приложений, как правило, превышает число пользователей платных приложений. Тем не менее, соотношение объёмов продаж платных приложений и объёмов продаж бесплатных приложений может быть получено только в результате анализа. Результаты анализа могут быть использованы при определении оптимальной стоимости разработанного приложения. По результатам анализа также может быть сделан вывод о том, что оптимальной стратегией является определение приложения в категорию бесплатных.

Помимо информации о стоимости приложения, на web-страницах некоторых приложений размещается информационное сообщение о снижении стоимости приложения. Данная информация позволяет проследить динамику роста популярности приложения в зависимости от стоимости загрузки приложения и определить эффективность подхода, заключающегося в кратковременном снижении стоимости, в контексте увеличения общего объёма продаж приложения.

На web-страницах содержатся сведения о возможности совершения покупок из приложения. Данные сведения позволяют учитывать доход от продажи внутриигрового контента в общем объёме продаж приложения, что, в свою очередь, позволяет более объективно оценивать общий объём продаж приложения.

Web-страницы отдельных приложений содержат информацию о стоимости внутриигрового контента. Данная информация позволяет определить влияние стоимости внутриигрового контента на степень популярности и рейтинг приложения. Кроме того, эти сведения и сведения о степени популярности приложения позволяют сделать предположение об объёме продаж внутриигрового контента.

В интернет-магазине содержатся сведения о возрастных ограничениях приложения. Возрастные ограничения показывают, на какую аудиторию рассчитан контент приложения. Целевая аудитория приложения оказывает решающее влияние на степень популярности и, соответственно, на объём продаж данного приложения. Анализ данной информации позволит выявить основную аудиторию пользователей мобильных приложений, и, таким образом, определить приоритетные направления разработки.

На web-страницах приложений имеется отдельная интерфейсная область, содержащая примечания разработчиков к текущей версии приложения. Семантический анализ данной информации, а также анализ изменения роста популярности и рейтинга приложения после очередного обновления, позволит определить причины роста или снижения популярности приложения; выявить факторы, оказывающие влияние на рейтинг приложения; определить актуальные потребности пользователей мобильных приложений.

Web-страница каждого приложения интернет-магазина содержит информацию о дате выпуска приложения. Анализ данной информации позволит определить корреляцию между степенью актуальности приложения и текущим уровнем его популярности, а также оценить среднюю скорость роста популярности и объёма продаж приложения.

Windows Phone Store предоставляет информацию об объёме скачиваемых файлов приложения. Большой объём файлов, предположительно, должен оказывать негативное влияние на динамику продаж приложения, поскольку увеличивает время скачивания приложения, существенно уменьшает объём дискового пространства на мобильном устройстве пользователя, увеличивает объём интернет-трафика, необходимого для скачивания приложения. С другой стороны, большой объём файлов является косвенным показателем наличия в приложении широкого спектра функциональных возможностей, что способствует росту популярности приложения. Статистический анализ значений данного показателя позволит определить степень его влияния на уровень популярности и объём продаж приложения.

В интернет-магазине имеется информация о том, к какой тематической категории относится приложение. Это позволит выявлять наиболее популярные категории интернет-магазина, а также категории с наибольшим объёмом продаж, и, таким образом, определять приоритетные направления разработки.

Интернет-магазин содержит список разрешений, требуемых для запуска приложения или для использования определённых функциональных возможностей приложения. Большой список разрешений, предположительно, должен оказывать негативное влияние на динамику продаж приложения, поскольку воспринимается пользователями как потенциальная угроза безопасности. С другой стороны, разрешения являются косвенным показателем наличия в приложении определённых функциональных возможностей, необходимых пользователям данного приложения. Качественный и количественный анализ списка разрешений в контексте его влияния на степень популярности приложений позволит выявить корреляцию (либо доказать её отсутствие) между составом списка разрешений и степенью популярности приложения.

На web-страницах приложений Windows Phone Store приводится список языков, поддерживаемых в приложении. Количество и степень распространённости поддерживаемых языков оказывает существенное влияние на охват пользовательской аудитории. Качественный и количественный анализ списка поддерживаемых языков позволит определить зависимость между составом списка поддерживаемых языков и степенью популярности приложения. Результаты анализа позволят выявить наиболее крупные языковые группы пользователей и, таким образом, определить приоритетные направления расширения языковой поддержки.

На web-страницах приложений имеется отдельная интерфейсная область, содержащая комментарии пользователей приложения. Семантический анализ данной информации даёт возможность определить причины роста или снижения популярности приложения; выявить факторы, оказывающие влияние на рейтинг приложения; определить потребности пользователей мобильных приложений.

Исследования проводились при поддержке ФГБУ Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках выполнения научно-исследовательской работы по программе "УМНИК".

Научный руководитель: к.т.н., доц. Ю.А. Леонов

Литература:

1. А. Бычков. Рынок мобильных приложений в России. – М.: Инфотропик Медиа, 2017. – 236 с.
2. Т. Алексеева, Ю. Амириди, В. Дик. Информационные аналитические системы. – М.: Издательский дом Университета «Синергия», 2013. – 384 с.

А.С. Зуева, Ю.А. Леонов
Брянский государственный технический университет, г. Брянск,
nastermaster@yandex.ru

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В статье обосновывается необходимость разработки системы поддержки принятия решений при выборе транспортного средства, обладающего набором характеристик, наиболее близким к оптимальному; описывается метод анализа иерархий в качестве основного математического метода, используемого в системе поддержки принятия решений; приводится список критериев оптимальности; описываются функциональным возможности разработанной программной системы; приводятся результаты разработки.

На выбор транспортного средства влияет множество факторов. Их систематизация и анализ с последующим выбором оптимального варианта среди большого числа альтернатив (конкретных транспортных средств) является сложной задачей. Осложняет принятие решения отсутствие опыта и знаний в области устройства транспортных средств.

Ещё одной проблемой, возникающей в процессе принятия решения, является многообразие возможных комбинаций характеристик транспортного средства. Сделать выбор из такого большого числа альтернатив зачастую затруднительно. Под «альтернативой» в данном случае понимается совокупность характеристик транспортного средства. Множество альтернатив в общем случае соответствует множеству вариантов достижения цели принятия решений.

Для решения данного класса задач создаются специализированные системы поддержки принятия решений (СППР). СППР представляет собой автоматизированную систему, целью

которой является помощь людям, принимающим решение в сложных ситуациях для комплексного многокритериального анализа предметной области. СППР являются гибридом управленческих информационных систем и систем управления базами данных [1].

Существует множество математических методов, которые используются для анализа и генерации предложений в СППР.

С целью решения данной задачи был использован метод анализа иерархий (МАИ) Томаса Саати. МАИ позволяет представить сложную проблему принятия решений в виде иерархии, определить необходимые критерии и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решений по совокупности критериев [2].

МАИ используется для принятия решения в различных областях деятельности, в том числе в области государственного управления, в предпринимательской деятельности, в промышленности, образовании и здравоохранении.

Процесс анализа в МАИ начинается с построения иерархической структуры, составными элементами которой являются цель принятия решений, альтернативные варианты решений и критерии, оказывающие влияние на выбор оптимального альтернативного варианта [3].

На рис. 1 изображена концептуальная схема МАИ в виде иерархии.

Вершиной иерархии является цель принятия решения.

Элементы второго уровня представляют собой критерии оптимальности альтернатив. Для каждого критерия K_i необходимо определить его вес $W(K_i)$, то есть степень значимости критерия при выборе оптимального решения. Чем больше вес критерия, тем большей значимостью он обладает и тем большее влияние критерий оказывает на результат анализа альтернатив. Вес критерия лежит в пределах от 0 до 1. Сумма весов критериев всегда равна 1.

Элементы третьего уровня соответствуют оценкам $P_L(A_i, K_j)$ множества альтернатив по множеству критериев. Оценка альтернативы по критерию показывает степень оптимальности альтернативы по данному критерию. Чем выше оценка альтернативы по определённому критерию, тем более оптимальной является альтернатива по данному критерию и тем большее значение будет иметь общая оценка альтернативы. Значение любой из оценок лежит в пределах от 0 до 1. Сумма оценок множества альтернатив по определённому критерию всегда равна 1.

Элементы нижнего уровня являются общими оценками $P(A_i)$ альтернатив. Общая оценка альтернативы показывает степень

оптимальности альтернативы, то есть, фактически, показывает степень достижения цели при выборе данной альтернативы. Чем выше общая оценка альтернативы, тем более оптимальное решение задачи представляет альтернатива. Значение любой из оценок лежит в пределах от 0 до 1. Сумма общих оценок для множества альтернатив всегда равна 1 [4].

При анализе конкретной альтернативы подсчитываются оценки альтернативы по каждому из критериев. После этого производится свёртка критериев: суммируются произведения веса критерия и оценки альтернативы по данном критерию. Результатом работы системы поддержки принятия решений при оптимизации выбора транспортного средства являются значения общих оценок множества альтернатив. Эти значения лежат в пределах от 0 до 1 и характеризуют степень достижения цели при выборе конкретной альтернативы.

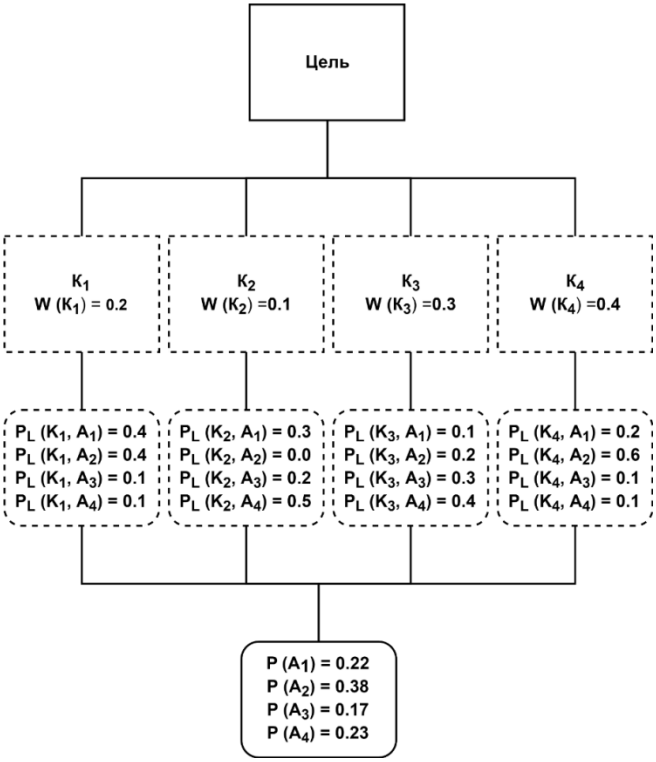


Рис. 1. Концептуальная схема МАИ

Описанный алгоритм повторяется для всех альтернатив. После этого список альтернатив ранжируется в порядке убывания значений общих оценок альтернатив. В результате формируется список альтернатив, проранжированных в порядке убывания их оптимальности. Первая альтернатива в списке представляет собой оптимальное решение [5].

С целью решения исходной задачи были выявлены основные факторы, оказывающие влияние на выбор транспортного средства, и сформирован соответствующий им набор критериев оптимальности:

- производитель транспортного средства;
- модель транспортного средства;
- тип коробки передач;
- тип кузова;
- тип двигателя;
- объём двигателя;
- год выпуска транспортного средства;
- тип привода;
- пробег;
- стоимость транспортного средства.

На основе метода анализа иерархий (МАИ) Томаса Саати разработан алгоритм, позволяющий проводить многокритериальный анализ альтернатив с учётом относительного веса критериев оптимальности. Вес критерия отражает степень его значимости для конкретного пользователя системы. При расчёте веса критериев учитываются возможности, интересы и запросы пользователя системы.

В результате выполнения работы создан программный комплекс, решающий задачу поддержки принятия решений при оптимизации выбора транспортного средства с использованием алгоритма, разработанного на основе МАИ. Разработанный программный комплекс на основе результатов анализа позволяет ранжировать альтернативы в порядке убывания их приоритетности (оптимальности) для конкретного пользователя системы.

Научный руководитель: к.т.н., доц. Ю.А. Леонов

Литература:

1. Кравченко Т., Исаев Д. Системы поддержки принятия решений. Учебник и практикум. – М.: Юрайт, 2017. – 292 с.

2. Халин В., Чернова Г. Системы поддержки принятия решений. Учебник и практикум. – М.: Юрайт, 2017. – 496 с.

3. Андреева О. Система поддержки принятия решений. – LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 136 с.

4. Аксенов К. Теория и практика средств поддержки принятия решений. – LAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 348 с.

5. А. Леженко. ИАД, поддержка принятия решений и многопараметрическое прогнозирование. – Palmarium Academic Publishing, 2013. – 60 с.

Н.Н. Иванов, В.Е. Купреев
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

ГРАДИЕНТНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ НЕРАВЕНСТВ

В общем случае под градиентными методами понимают пошаговую процедуру, в которой направление движения в пространстве из исходной точки осуществляется по градиенту какой-либо функции. Использование градиентных методов для решения задач нелинейного программирования (НЛП) позволяет найти точку локального экстремума. Глобальный экстремум может быть найден только в задачах минимизации (максимизации), в которых целевая функция является выпуклой (вогнутой), и область допустимых значений выпуклая.

Часто в технических задачах поиск оптимального решения представляет трудоемкую и недостаточно обоснованную процедуру. В этих случаях целесообразно заменить оптимальное решение допустимым. Примером таких задач является выбор варианта схемы или устройства, к которому предъявляется ряд обязательных требований (ограничений). При этом не ставится условий достижения наилучшего значения одного из показателей, то есть, не задана целевая функция. Все решения этой задачи (все векторы, принадлежащие допустимой области) являются равноценными. Таким образом, может быть исключен трудоемкий этап оптимизации.

Рассмотрим некоторые разновидности градиентных методов.

1) *Градиентный метод с переменным шагом* носит итерационный характер и заключается в построении некоторой конечной или бесконечной последовательности точек X_k ($к$=0,1 ...), которая сходится к решению задачи.

При этом последовательные точки связаны соотношением:

$$X_{k+1} = X_k + \alpha_{k+1} S_{k+1}, \qquad (1)$$

где S_{k+1}- вектор перемещения из начальной точки, антиградиент $\overline{A}_{k+1}$, α_{k+1}- длина шага по направлению S_{k+1}, X_k- начальная точка.

Рассмотрим геометрическую интерпретацию процедуры построения допустимого решения. Задача решения системы линейных неравенств сводится к тому, чтобы за некоторое конечное число шагов *n* перейти из точки X_k ($X_k \in E_n$, $X_k \notin G$) в точку X_{k+n} ($X_{k+n} \in E_n$, $X_k \in G$).

Произвольная точка $X_k \in E_n$, $X_k \notin G$ делит множество полупространств (линейных неравенств), образующих область *G* по отношению к себе на два подмножества. Первое включает в себя точку X_k и составляет подмножество выполняемых ограничений *M1*

$$(A_i, X_k) \le B_i \qquad i \in M1 \qquad (2)$$

Второе составляет множество невыполняемых ограничений *M2*

$$(A_\ell, X_k) > B_\ell \qquad \ell \in M2 \qquad (3)$$

Такую пошаговую процедуру можно организовать следующим образом: каждую новую последовательность X_{k+1} строить так, чтобы на каждом шаге операции (поочередно) все неравенства переводились из подмножества невыполнимых ограничений *M2* в подмножество выполняемых ограничений *M1*. Для этого необходимо из точки X_k по кратчайшему пути перейти в точку X_{k+1}, находящуюся на границе l -го неравенства, где выполняется соотношение:

$$(A_\ell, X_{k+1}) = B_\ell \qquad \ell \in M1 \qquad (4)$$

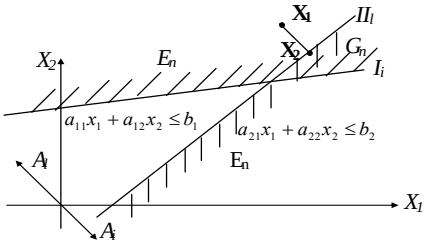


Рис.1. Геометрическая интерпретация процедуры поиска допустимого решения

На рисунке X_1 - начальная точка. Из X_1 переходим в точку X_2, которая находится на границе неравенства "*l*-ого" (второго). Движение происходит по направлению антиградиента к функции *l* ограничения (A_l - направление градиента).

Длина шага может быть определена из условий выполнения выбранного ограничения на равенство:

$$\alpha_{k+1} = \frac{(A_l, X_k) - B_l}{|A_l||A_l|}\ , \qquad (5)$$

Полученная точка X_2 находится на границе области G, то есть по отношению к X_2 второе (l-ое) неравенство перешло из подмножества невыполняемых условий *M2* в подмножество выполняемых ограничений *M1* и подмножество *M2* стало пустым. Отсюда следует, что точка X_2 является решением системы неравенств, то есть $X_2 \in E_n$, $X_2 \in G$. Количество итераций $n \le L$, L - количество невыполнимых ограничений. В данном случае $L = 1$.

Основным недостатком градиентного метода является асимптотическая сходимость (в общем случае) к некоторым угловым точкам решения. Асимптотическая сходимость может иметь место только к так называемым точкам "остроугольных" вершин, образованных функциями ограничений, скалярное произведение градиентов в которых отрицательно.

Процесс асимптотической сходимости затягивает процедуру решения систем неравенств, так как возникает возможность обратного перехода полупространств из *M1* в *M2* и точное решение может быть получено только при бесконечном количестве шагов.

На рис.2 показан случай асимптотической сходимости. Если за начальную точку взята точка X_0, то решением системы неравенств в этом случае является точка C - вершина угла.

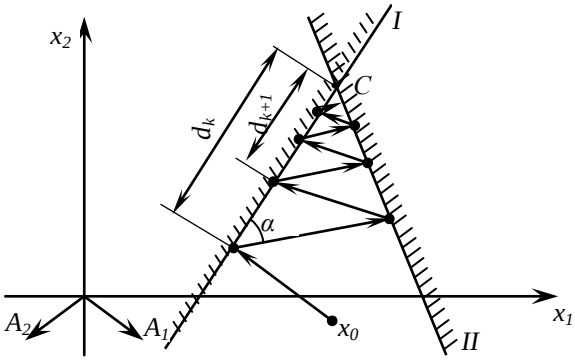


Рис.2. Случай асимптотической сходимости

Свести бесконечно сходящийся процесс к конечно-шаговому можно несколькими способами. Рассмотрим метод "удлиненного шага". Суть его в том, что шаг по направлению антиградиента

осуществляется за границу полупространства (внутрь области). Величина этого отклонения *EPS*.

$$d_{k+1} = \frac{(A_i, X_k) - B_i + EPS}{|A_i|^2}, \qquad (6)$$

Предложенная алгоритмическая процедура поиска допустимого решения довольно проста, ее высокая эффективность была подтверждена при решении электроэнергетических задач.

2) Рассмотрим *метод наискорейшего спуска*, при котором на каждой итерации величина шага a_k выбирается из условия минимума функции *f(x)* в направлении спуска, т. е. :

$$f\big(x[k] - a_k f'(x[k])\big) = \min_{a>0} f(x[k] - af'(x[k])) \ , \qquad (8)$$

Это условие означает, что движение вдоль антиградиента происходит до тех пор, пока значение функции *f(x)* убывает. С математической точки зрения на каждой итерации необходимо решать задачу одномерной минимизации по *a* функции:

$$\varphi(a) = f\big(x[k] - af'(x[k])\big), \qquad (9)$$

Алгоритм метода наискорейшего спуска состоит в следующем:

1. Задаются координаты начальной точки *x[0]*;

2. В точке *x[k], k = 0, 1, 2, ... ,n* вычисляется значение градиента *f'(x[k])*;

3. Определяется величина шага *ak*, путем одномерной минимизации по *a* функции:

$$\varphi(a) = f(x[k] - af'(x[k])) \ , \qquad (10)$$

4. Определяются координаты точки *x[k+1]:*

$$x_i[k+1] = x_i[k] - a_k f'(x[k]), i = 1, .., n. \ , \qquad (11)$$

5. Проверяются условия останова стерационного процесса. Если они выполняются, то вычисления прекращаются. В противном случае осуществляется переход к п. 1.

В рассматриваемом методе направление движения из точки *x[k]* касается линии уровня в точке *x[k+1]* (Рис.3.). Траектория спуска зигзагообразная, причем соседние звенья зигзага ортогональны друг другу. Действительно, шаг a_k выбирается путем минимизации по *a* функции (10). Необходимое условие минимума функции *dj(a)/da = 0*. Вычислив производную сложной функции, получим условие ортогональности векторов направлений спуска в соседних точках:

$$\frac{d\varphi(a)}{da} = -f'(x[k+1]f'(x[k] = 0 \ , \qquad (12)$$

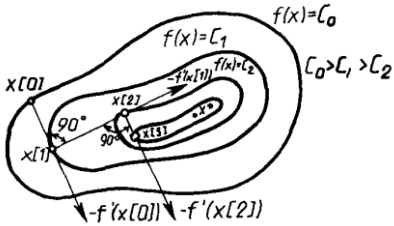


Рис.3. Геометрическая интерпретация метода наискорейшего спуска

Скорость сходимости градиентных методов существенно зависит также от точности вычислений градиента. Потеря точности, а это обычно происходит в окрестности точек минимума или в овражной ситуации, может вообще нарушить сходимость процесса градиентного спуска. Поэтому часто градиентные методы используются в комбинации с другими, более эффективными методами на начальной стадии решения задачи.

3*) Метод сопряженных градиентов* формирует направления поиска, в большей мере соответствующие геометрии минимизируемой функции. Это существенно увеличивает скорость их сходимости и позволяет, например, минимизировать квадратичную функцию с положительно определенной матрицей *H* за конечное число шагов *n*, равных числу переменных функции:

$$f(x) = (x, Hx) + (b, x) + a\ , \qquad (12)$$

По определению, два *n*-мерных вектора x и y называют сопряженными по отношению к матрице *H* (или *H*-сопряженными), если скалярное произведение *(x, Hy) = 0*. Здесь *H* - симметрическая положительно определенная матрица размером *nxn*.

Одной из наиболее существенных проблем в методах сопряженных градиентов является проблема эффективного построения направлений. Метод Флетчера-Ривса решает эту проблему путем преобразования на каждом шаге антиградиента *-f(x[k])* в направление *p[k]*, *H*-сопряженное с ранее найденными направлениями *p[0], p[1], ..., p[k-1]*. Рассмотрим сначала этот метод применительно к задаче минимизации квадратичной функции.

Направления *p[k]* вычисляют по формулам:

$$p[k] = -f'(x[k]) + \beta_{k-1} p[k-1], k \geq 1; \qquad (13)$$

$$p[0] = -f'(x[0]). \qquad (14)$$

Величины b_{k-1} выбираются так, чтобы направления *p[k], p[k-1]* были *H*-сопряженными:

$$(p[k], Hp[k-1]) = 0\ , \qquad (15)$$

В результате для квадратичной функции:

$$\beta_{k-1} = \frac{(f'(x[k], f'(x[k]))}{(f'(x[k-1], f'(x[k-1]))} \quad , \tag{16}$$

Итерационный процесс минимизации имеет вид:

$$x[k+1] = x[k] + a_k p[k] \, , \tag{17}$$

где *p[k]* - направление спуска на *k-м* шаге; a_k - величина шага. Последняя выбирается из условия минимума функции *f(x)* по *a* в направлении движения, т. е. в результате решения задачи одномерной минимизации:

$$f(x[k] + a_k p[k]) = \min_{a \geq 0} f(x[k] + ap[k]) \, , \tag{18}$$

Для квадратичной функции:

$$a_k = -\frac{(f'(x[k]), p[k])}{(p[k], Hp[k])}$$

Алгоритм метода сопряженных градиентов Флетчера-Ривса состоит в следующем:

1. В точке *x[0]* вычисляется *p[0] = -f'(x[0])*.

2. На *k-м* шаге по приведенным выше формулам определяются шаг a_k и точка *x[k+1]*.

3. Вычисляются величины *f(x[k+1])* и *f'(x[k+1])*.

4. Если *f'(x[k+1]) = 0*, то точка *x[k+1]* является точкой минимума функции *f(x)*. В противном случае определяется новое направление *p[k+l]* из соотношения:

$$p[k+1] = -f'(x[k+1]) + \frac{\left(f'(x[k+1]), f'(x[k+1])\right)}{(f'(x[k], f'(x[k]))} p[k] \tag{20}$$

и осуществляется переход к следующей итерации. Эта процедура найдет минимум квадратичной функции не более чем за *n* шагов. При минимизации неквадратичных функций метод Флетчера-Ривса из конечного становится итеративным. В таком случае после *(n+1)*-й итерации процедуры 1-4 циклически повторяются с заменой *x[0]* на *x[n+1]*, а вычисления заканчиваются при $\|f'(x[k])\| < \varepsilon$, где ε- заданное число. При этом применяют следующую модификацию метода:

$$\begin{gathered} x[k+1] = x[k] + a_k p[k], \\ p[k] = -f'(x[k]) + \beta_{k-1} p[k-1], k \geq 1; \\ p[0] = -f'(x[0]); \\ f(x[k] + a_k p[k]) = \min_{a \geq 0} f(x[k] + ap[k]; \end{gathered} \tag{21}$$

$$\beta_{k-1} = \begin{cases} \dfrac{(f'(x[k]), f'(x[k]) - f'(x[k-1]))}{(f'(x[k], f'(x[k]))} & , k \in I \\ 0, k \in I \end{cases}$$

Здесь *I*- множество индексов: *I = {0, n, 2n, 3n, ...},* т. е. обновление метода происходит через каждые п шагов.

Геометрический смысл метода сопряженных градиентов состоит в следующем (Рис.4.). Из заданной начальной точки *x[0]* осуществляется спуск в направлении *p[0] = -f'(x[0]).* В точке *x[1]* определяется вектор-градиент *f'(x [1]).* Поскольку *x[1]* является точкой минимума функции в направлении *p[0]*, то *f'(x[1])* ортогонален вектору *p[0].* Затем отыскивается вектор *p[1]*, *H*-сопряженный к *p [0]* . Далее отыскивается минимум функции вдоль направления *p[1]* и т. д.

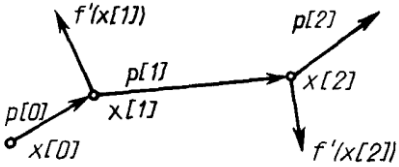


Рис. 4. Траектория спуска в методе сопряженных градиентов.

Методы сопряженных направлений являются одними из наиболее эффективных для решения задач минимизации. Однако следует отметить, что они чувствительны к ошибкам, возникающим в процессе счета. При большом числе переменных погрешность может настолько возрасти, что процесс придется повторять даже для квадратичной функции, т. е. процесс для нее не всегда укладывается в п шагов.

Научный руководитель: старший преподаватель Т.В. Темгеневская

Литература:

1. Ю.Н. Кузнецов, В.И. Кузубов, А.Б. Волощенко. Математическое программирование. Учебное пособие для вузов. М., «Высшая школа» , 1976.

2. Темгеневская Т.В. Поиск настроечных параметров регуляторов электроэнергетической системы. Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 2. С. 77.

3.Темгеневская Т.В. Методы оптимизации настроек автоматических регуляторов возбуждения и частоты вращения синхронных генераторов. Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2015. Т. 2. № 2. С. 68-73.

4.Темгеневская Т.В. Методы настройки автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3 (55). С. 84-94.

Д.И. Игнатьев, В.Ю. Готовцев, А.В. Бойко
Братский государственный университет, г. Братск
uts@brstu.ru

ПАССИВНЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОСВЯЗНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

При управлении, регулировании и контроле в системах теплоснабжения необходимо сочетание теоретических и практических исследований с учетом анализа экспериментальных данных.

На этапе проектирования математическое описание объекта управления является приближенным или вообще отсутствует. Эта неполнота объясняется тем, что ряд факторов либо очень трудно, либо вообще не удается учесть в уравнениях движения. В силу этих трудностей возникает большая потребность оценки динамической модели в ходе практического эксперимента, т.е. в идентификации объектов управления.

Современные системы теплоснабжения представляют собой сложные многоконтурные и многосвязные системы, которые имеют ряд входных и выходных величин, зависимости между которыми носят взаимный характер. Поэтому трудность идентификации многосвязной системы заключается во влиянии на все выходные реакции всех входных возмущений (рис. 1).

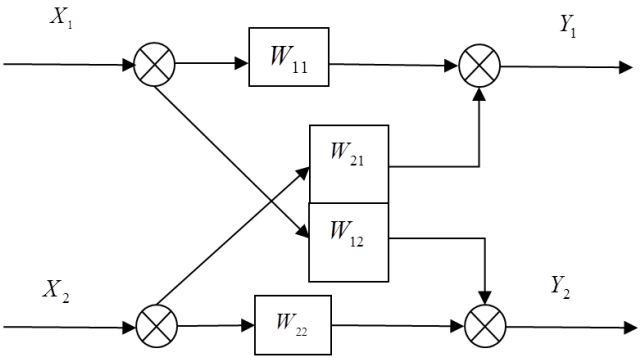


Рис. 1. Двухсвязная система управления

Одним из подходов к идентификации многосвязных систем является поочередная подача входных воздействий, что практически не реализуемо в процессе нормальной эксплуатации системы. Поэтому необходима разработка пассивных методов идентификации, которые не будут нарушать ход работы технологического процесса.

К пассивным можно отнести методы идентификации, которые используют в качестве входных сигналов шумы системы в рабочем частотном диапазоне.

Взаимосвязь между выходными и входными сигналами двухсвязной системы (рис. 1) может быть описана линейными дифференциальными уравнениями следующего вида:

$$\sum_{l=0}^{m_1} a_{1l} y_1^{(l)}(t) = \sum_{v=0}^{r_1} b'_{1v} x_1^{(v)}(t) + \sum_{k=0}^{s_1} b''_{1k} x_2^{(k)}(t)\,, \tag{1}$$

$$\sum_{l=0}^{m_2} a_{2l} y_2^{(l)}(t) = \sum_{v=0}^{r_2} b'_{2v} x_1^{(v)}(t) + \sum_{k=0}^{s_2} b''_{2k} x_2^{(k)}(t)\,. \tag{2}$$

Для дискретного аналога непрерывной динамической системы уравнения (1), (2) заменяются линейными разностными уравнениями:

$$\sum_{k=0}^{n_1} \hat{a}_{1k} y_1((i-k)\Delta T) = \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} x_1((i-k)\Delta T) + \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} x_2((i-k)\Delta T)\,, \tag{3}$$

$$\sum_{k=0}^{n_2} \hat{a}_{2k} y_2((i-k)\Delta T) = \sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}'_{2k} x_1((i-k)\Delta T) + \sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}''_{2k} x_2((i-k)\Delta T)\,. \tag{4}$$

Выражения (3) и (4) могут быть представлены в виде, удобном для моделирования, а именно:

$$y_1(i\Delta T) = \frac{1}{\hat{a}_{10}}\Big(\sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} x_1((i-k)\Delta T) + \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} x_2((i-k)\Delta T) -$$

$$-\sum_{k=1}^{n_1} \hat{a}_{1k} y_1((i-k)\Delta T)) \,, \tag{5}$$

$$y_2(i\Delta T) = \frac{1}{\hat{a}_{20}} (\sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}'_{2k} x_1((i-k)\Delta T) + \sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}''_{2k} x_2((i-k)\Delta T) -$$

$$-\sum_{k=1}^{n_2} \hat{a}_{2k} y_2((i-k)\Delta T)) \,. \tag{6}$$

Параметрический анализ во временной области предполагает оценивание параметров $\hat{a}_{10} \dots \hat{a}_{1n_1}$, $\hat{a}_{20} \dots \hat{a}_{2n_2}$, $\hat{b}'_{10} \dots \hat{b}'_{1n_1}$, $\hat{b}'_{20} \dots \hat{b}'_{2n_2}$, $\hat{b}''_{10} \dots \hat{b}''_{1n_1}$, $\hat{b}''_{20} \dots \hat{b}''_{2n_2}$ при известных порядках n1 и n2 модели.

Как правило, порядок модели неизвестен, поэтому число параметров, описывающих динамические свойства системы, определяют экспериментально, увеличивая количество членов в левой части выражениях (5) и (6) до тех пор, пока автокорреляционная функция остаточных ошибок не будет информировать нас о том, что нет признаков корреляции остаточных ошибок.

Параметры $\hat{a}_{10} \dots \hat{a}_{1n_1}$, $\hat{a}_{20} \dots \hat{a}_{2n_2}$, $\hat{b}'_{10} \dots \hat{b}'_{1n_1}$, $\hat{b}'_{20} \dots \hat{b}'_{2n_2}$, $\hat{b}''_{10} \dots \hat{b}''_{1n_1}$, $\hat{b}''_{20} \dots \hat{b}''_{2n_2}$ при фиксированных значениях n1 и n2 могут быть определены с помощью метода наименьших квадратов, который минимизирует сумму квадратов отклонений выходных значений $y_1^{э}(i\Delta T)$ и $y_2^{э}(i\Delta T)$, измеренных экспериментально, от расчетных, полученных из выражений (5) и (6). Для идентификации параметров данной системы этот метод будет иметь следующий вид:

$$I_1 = \sum_{i=n_1}^{N-1} (y_1^{ý}(i\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} x_1((i-k)\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} x_2((i-k)\Delta T) +$$

$$+\sum_{k=1}^{n_1} \hat{a}_{1k} y_1((i-k)\Delta T)))^2 \to min \,, \tag{7}$$

$$I_2 = \sum_{i=n_2}^{N-1} (y_2^{ý}(i\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}'_{2k} x_1((i-k)\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}''_{2k} x_2((i-k)\Delta T) -$$

$$+\sum_{k=1}^{n_2} \hat{a}_{2k} y_2((i-k)\Delta T)))^2 \to min \,. \tag{8}$$

где N – количество отсчетов во временном ряду.

Для определения параметров применим стандартный прием, а именно приравняем все частные производные выражения (7) и (8) по

искомым параметрам к нулю. Для каналов x1 – y1, x2 – y2 частные производные будут определяться:

$$\frac{\partial I_1}{\partial \hat{a}_{1l}} = \sum_{i=n_1}^{N-1} 2\left[y_1^{э}(i\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} x_1((i-k)\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} x_2((i-k)\Delta T)) \right. \tag{9}$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{n_2} \hat{a}_{1k} y_1((i-k)\Delta T) \right] \left[y_1((i-l)\Delta T) \right] = 0, \quad l = 1,...n_1$$

$$\frac{\partial I_1}{\partial \hat{b}'_{1r}} = \sum_{i=n_1}^{N-1} 2\left[y_1^{э}(i\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} x_1((i-k)\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} x_2((i-k)\Delta T)) \right. \tag{10}$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{n_2} \hat{a}_{1k} y_1((i-k)\Delta T) \right] \left[-x_1((i-r)\Delta T) \right] = 0, \quad r = 0,1,...n_1$$

$$\frac{\partial I_1}{\partial \hat{b}''_{1r}} = \sum_{i=n_1}^{N-1} 2\left[y_1^{э}(i\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} x_1((i-k)\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} x_2((i-k)\Delta T)) \right. \tag{11}$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{n_2} \hat{a}_{1k} y_1((i-k)\Delta T) \right] \left[-x_2((i-r)\Delta T) \right] = 0, \quad r = 0,1,...n_1$$

После некоторых преобразований выражения (9)–(11) можно переписать в следующем виде:

$$\sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} x_1((i-k)\Delta T) y_1((i-l)\Delta T) + \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} x_2((i-k)\Delta T) y_1((i-l)\Delta T) - \tag{12}$$

$$- \sum_{k=1}^{n_1} \hat{a}_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} y_1((i-k)\Delta T) y_1((i-l)\Delta T) = \sum_{i=n_1}^{N-1} y_1^{э}(i\Delta T) y_1((i-l)\Delta T), l = 1,...n_1$$

$$\sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} x_1((i-k)\Delta T) x_1((i-r)\Delta T) + \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} x_2((i-k)\Delta T) x_1((i-r)\Delta T) - \tag{13}$$

$$- \sum_{k=1}^{n_1} \hat{a}_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} y_1((i-k)\Delta T) x_1((i-r)\Delta T) = \sum_{i=n_1}^{N-1} y_1^{э}(i\Delta T) x_1((i-r)\Delta T), r = 1,...n_1$$

$$\sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} x_1((i-k)\Delta T) x_2((i-r)\Delta T) + \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} x_2((i-k)\Delta T) x_2((i-r)\Delta T) - \tag{14}$$

$$- \sum_{k=1}^{n_1} \hat{a}_{1k} \sum_{i=n_1}^{N-1} y_1((i-k)\Delta T) x_2((i-r)\Delta T) = \sum_{i=n_1}^{N-1} y_1^{э}(i\Delta T) x_2((i-r)\Delta T), r = 1,...n_1$$

Из полученных выражений (12)–(14) видно, что получена система из $3n_1 + 1$ уравнений с $3n_1 + 1$ неизвестными. Решив эту систему линейных уравнений, определяем параметры первого контура $\hat{a}_{10} \ldots \hat{a}_{1n_1}$, $\hat{b}'_{10} \ldots \hat{b}'_{1n_1}$, $\hat{b}''_{10} \ldots \hat{b}''_{1n_1}$ динамической модели (3). Аналогичным

образом можно получить соотношения для определения параметров $\hat{a}_{20} \dots \hat{a}_{2n_2}$, $\hat{b}'_{20} \dots \hat{b}'_{2n_2}$, $\hat{b}''_{20} \dots \hat{b}''_{2n_2}$ каналов $x_1 - y_2$, $x_2 - y_2$.

После оценивания параметров уравнения (3) и (4) можно получить значения остаточных ошибок:

$$\varepsilon_1(i\Delta T) = y_1^{э}(i\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}'_{1k} x_1((i-k)\Delta T) - \\ - \sum_{k=0}^{n_1} \hat{b}''_{1k} x_2((i-k)\Delta T) + \sum_{k=1}^{n_1} \hat{a}_{1k} y_1((i-k)\Delta T), \quad (15)$$

$$\varepsilon_2(i\Delta T) = y_2^{э}(i\Delta T) - \sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}'_{2k} x_1((i-k)\Delta T) - \\ - \sum_{k=0}^{n_2} \hat{b}''_{2k} x_2((i-k)\Delta T) + \sum_{k=1}^{n_2} \hat{a}_{2k} y_1((i-k)\Delta T). \quad (16)$$

Данная модель будет достоверной в случае отсутствия признаков корреляции остаточных ошибок экспериментальных данных от расчетных по полученным моделям (3) и (4).

Для определения признаков корреляции остаточных ошибок воспользуемся выборочным значением автокорреляционной функции, при этом выборочное среднее остаточных ошибок должно быть равно нулю:

$$s_1(v\Delta T) = \frac{1}{N - v - n_1} \sum_{i=n_1}^{N-v-1} \left(\varepsilon_1(i\Delta T)\varepsilon_1((i+v)\Delta T\right), \quad v = 0, 1, \dots. \quad (17)$$

$$s_2(v\Delta T) = \frac{1}{N - v - n_2} \sum_{i=n_2}^{N-v-1} \left(\varepsilon_2(i\Delta T)\varepsilon_2((i+v)\Delta T\right), \quad v = 0, 1, \dots. \quad (18)$$

На основе автокорреляционной функции остаточных ошибок (17), (18) и критериев белого шума можно проверить, является ли реализация остаточных ошибок случайным процессом с нормальным распределением. Если реализация остаточных ошибок является случайным процессом с нормальным распределением, то модель с найденным порядком достоверно описывает идентифицируемый объект.

Полученные временные последовательности при моделировании системы теплоснабжения подтверждают эффективность и практическую осуществимость предлагаемого подхода к идентификации.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Семенов

Литература:

1. Разработка методики идентификации объекта управления по выборкам входного и выходного сигналов, Дьяконица С.А. Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки.-2015.Т.1.С. 130-134.
2. Идентификация системы отопления с использованием цифровой обработки сигналов, Дьяконица С.А., Семенов Д.С. Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки.-2012.Т.1.С. 32-37.

А.А. Кушнирук
Братский государственный университет, г. Братск,
uts@brstu.ru

СИНТЕЗ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО ПЕРЕДАТОЧНЫМ ФУНКЦИЯМ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАБИЛИЗАЦИИ

При исследовании статической колебательной устойчивости сложных энергосистем традиционно пользуются моделью в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы, протекающие в генераторах, нагрузках, системах автоматического регулирования и линиях. При таком классическом подходе определяется внутреннее описание системы, раскрывающее взаимодействие всех составляющих элементов. Можно не находить полное решение системы, а преобразовать исходную модель таким образом, чтобы получать только интересующие параметры. Такой подход основывается на рассмотрении системы как некоторого "чёрного ящика" с доступными входными и выходными переменными.

Покажем возможность построения модели сложного энергообъединения для целей выбора и координации настроек АРВ-СД нескольких станций на основе принципов кибернетического моделирования. Для этого установим связь между описанием системы в виде дифференциальных уравнений и с помощью передаточных функций.

Многомашинную регулируемую систему можно представить в виде объекта с неизвестным внутренним описанием, имеющим несколько входов и выходов (рис.1.а). Для определённости количество эквивалентных генераторов принято равным трём. Здесь ΔU_i , $\Delta\omega_i$ – соответственно отклонение напряжения и частоты на шинах i-й

станции; Φ_{Ui}, $\Phi_{\omega i}$ – передаточные функции каналов АРВ-СД; W(p) – матричная передаточная функция, элементы которой есть частные передаточные функции вида:

$$W_{EiLj} = \frac{\Delta L_j(p)}{\Delta E_{ri}(p)}, \quad \Delta L_j = \Delta U_j V \Delta\omega_j, \quad i,j=1,2,3.$$

Из структурной схемы, изображенной на рис.1 (а), могут быть исключены замкнутые контуры регулирования по напряжению. При этом в знаменателе частных передаточных функций изменённой структурной схемы появится добавка, учитывающая каждый исключённый контур. Так, например, при исключении канала регулирования по ΔU для третьего генератора имеем:

$$W' = \frac{W_{EiLj}}{1 - W_{E3V3}\Phi_{v3}}. \qquad (1)$$

На рис.1 (б) приведена структура исходной системы с исключенными контурами регулирования по напряжению всех АРВ-СД. При этом частные передаточные функции определяются следующим соотношением:

$$W''_{E_i w_j} = \frac{W'_{Eiwj}}{1 - W'_{E2V2}\Phi_{V2} - W'_{E1V1}\Phi_{V1}}. \qquad (2)$$

Подставив (1) в (2), можно получить выражения для передаточных функций W''_{Eiwj} через исходные.

Определённые таким путём передаточные функции являются математически строгими и отражают свойства всей системы, в том числе и исключённых контуров. Кроме того, W_{ij} (p) принципиально можно найти по полному математическому описанию системы, записанному в виде системы дифференциальных уравнений, исключив все переменные, кроме двух – ΔE_{ri}, $\Delta\omega_i$, и найдя их отношение в операторном виде:

$$W_{ij}(p) = \frac{\Delta\omega_i(p)}{\Delta E_j(p)}. \qquad (3)$$

Раскрыв внутреннее содержание W''(p) через её составные элементы, получим структурную схему энергосистемы, которая позволяет сформировать модель для координации настроек АРВ-СД нескольких станций (рис.2). Так, для двух точек регулирования схема будет иметь вид, показанный на рисунке 2. (а).

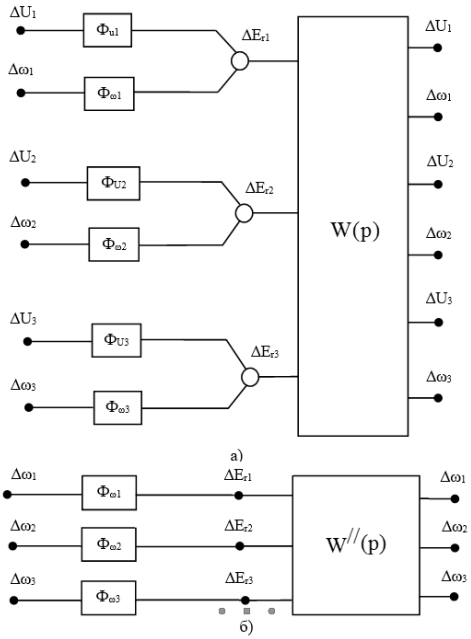


Рис.1. Структурная схема многомашинной энергосистемы:
а) исходная; б) после исключения замкнутых контуров регулирования АРВ-СД по ΔU

Структурную схему можно рассматривать как один из видов графа. Поэтому для определения искомой передаточной функции воспользуемся методами теории графов, в частности формулой Мезона (Мейсона) [148]:

$$W_{ZX} = \frac{\sum_{i=1}^{r} H_i \Phi_{\sum i}}{\Phi}, \qquad (4)$$

где W_{ZX} – отношение изображения Z переменной z к изображению X переменной x;

$$\Phi = 1 - \sum_{i=1}^{r1} H_{1i} + \sum_{i=1}^{r2} H_{2i} + \sum_{i=1}^{r3} H_{3i} + \ldots;$$

H_{1i} – передаточная функция разомкнутой цепи i-го замкнутого контура структурной схемы; r_1 – число замкнутых контуров в схеме; H_{2i} – произведение передаточных функций разомкнутых цепей i-ой пары несоприкасающихся замкнутых контуров; r_2 – число пар

несоприкасающихся контуров; H_{3i} – произведение передаточных функций разомкнутых цепей i-ой тройки несоприкасающихся контуров; r_3 – число троек несоприкасающихся контуров; H_i – передаточная функция i-ой прямой цепи от переменной x к переменной z; r – число прямых цепей от переменной x к переменной z; $\Phi_{\sum I}$ – функция Φ для той части структурной схемы, которая не соприкасается с i-ой прямой цепью от x к z.

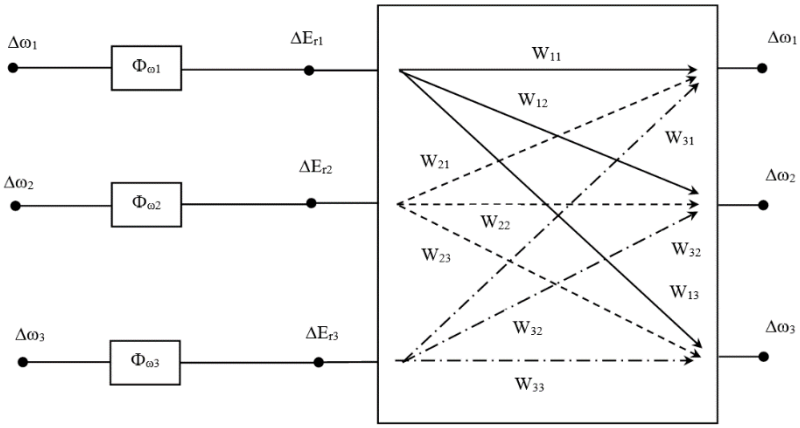


Рис.2. Структурное представление энергосистемы при трёх станциях, выделенных для оптимизации настроек их АРВ-СД

Используя формулу (4), нужно иметь в виду следующее. При определении передаточной функции разомкнутой цепи каждого из контуров нужно учитывать знак обратной связи, образующей этот контур. Если с i-ой прямой цепью соприкасаются все замкнутые контуры, то $\Phi_{\sum i} = 1$.

Структурной схеме (рис.3, а) соответствует граф, представленный на рисунке 3 (б). Применив (4), запишем выражение для передаточной функции параметра стабилизации первой станции $W_{11}(p)$ (от входа 1 к выходу 2). В рассматриваемой схеме три замкнутых контура, передаточные функции их разомкнутых цепей $W_{11}\Phi_1$, $W_{22}\Phi_2$ и $W_{12}\Phi_1 W_{21}\Phi_2$. следовательно:

$$\sum_{i=1}^{3} H_{1i} = W_{11}\Phi_1 + W_{22}\Phi_2 + W_{12}\Phi_1 W_{21}\Phi_2 \cdot$$

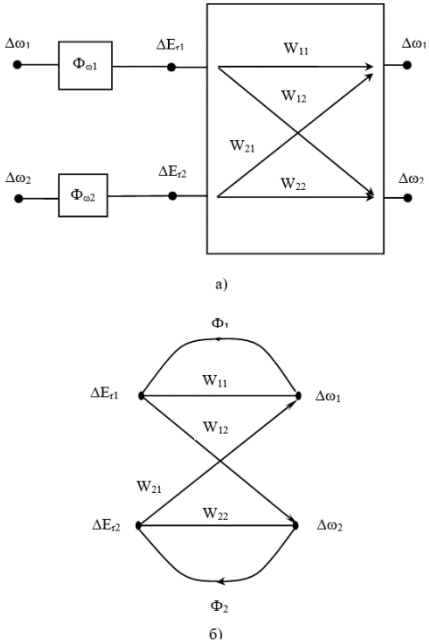


Рис. 3. Структурная схема энергосистемы (а) и соответствующий ей граф (б) при двух станциях, выделенных для оптимизации настроек их АРВ-СД

Очевидно, что схема содержит только одну пару несоприкасающихся контуров, поэтому

$$\sum_{i=1}^{1} H_{2i} = W_{11}\Phi_1 W_{22}\Phi_2 \ ,$$

$$\Phi = 1 - (W_{11}\Phi_1 + W_{22}\Phi_2 + W_{12}\Phi_1 W_{21}\Phi_2) + W_{11}\Phi_1 W_{22}\Phi_2 \, .$$

От задающего воздействия к выходу идут две прямые цепи передачи сигнала. Их передаточные функции:

$$H_i = W_{11}, \ H_2 = W_{21}\Phi_2 W_{12} \, .$$

С первой цепью не соприкасается только один контур, со второй соприкасаются все замкнутые контуры, следовательно:

$$\Phi_{\Sigma 1} = 1 - W_{22}\Phi_2 \ \text{ и } \ \Phi_{\Sigma 2} = 1 \, .$$

Теперь можно определить искомую передаточную функцию:

$$W_1 = \frac{W_{11}(1 - W_{22}\Phi_2) + W_{12}\Phi_2 W_{21} \cdot 1}{1 - (W_{11}\Phi_1 + W_{22}\Phi_2 + W_{12}\Phi_1 W_{21}\Phi_2) + W_{11}\Phi_1 W_{22}\Phi_2} \, . \qquad (5)$$

Из (2.5) имеем характеристический полином:

$$D(p) = 1 - (W_{11}\Phi_1 + W_{22}\Phi_2 + W_{12}\Phi_1 W_{21}\Phi_2) + W_{11}\Phi_1 W_{22}\Phi_2 . \qquad (6)$$

Передаточные функции каналов стабилизации Φ_1 и Φ_2 в соответствии со структурной схемой АРВ-СД, приведённой в главе 1, имеют вид:

$$\Phi_1 = K_{0\omega}^{(1)} + \frac{K_{1\omega}^{(1)} \cdot p}{\Phi_1^{//}} = \frac{K_{0\omega}^{(1)} \Phi_1^{//} + K_{1\omega}^{(1)} \cdot p}{\Phi_1^{//}} = \frac{\Phi_1^{/}}{\Phi_1^{//}};$$

$$\Phi_2 = K_{0\omega}^{(2)} + \frac{K_{1\omega}^{(2)} \cdot p}{\Phi_2^{//}} = \frac{K_{0\omega}^{(2)} \Phi_2^{//} + K_{1\omega}^{(2)} \cdot p}{\Phi_2^{//}} = \frac{\Phi_2^{/}}{\Phi_2^{//}}, \qquad (7)$$

где $\Phi_i^{//}$ – знаменатель передаточной функции дифференциатора канала стабилизации; $K_{0\omega}^{(i)}$, $K_{1\omega}^{(i)}$ – коэффициенты усиления по отклонению и производной режимного параметра стабилизации i-ой станции.

Определённая ранее передаточная функция $W_1(p)$ является передаточной функцией замкнутой системы. Если же разомкнуть канал стабилизации $\Phi_1(p)$, то получим передаточную функцию разомкнутой системы – $W_{01}(p)$. Между $W_{01}(p)$ и $W_1(p)$ справедливо следующее соотношение:

$$W_{01}(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)\Phi_1(p)} . \qquad (8)$$

Если разомкнуть канал стабилизации и второй станции ($\Phi_2(p)=0$), то $W_1(p)=W_{11}(p)$.

Аналогично $W_2(p)=W_{22}(p)$, при $\Phi_1(p)=0$ и $\Phi_2(p)=0$. Таким образом, $W_{11}(p)$ и $W_{22}(p)$ имеют вполне определенный физический смысл, они определяют естественные демпферные свойства нестабилизированной системы.

В общем случае можно записать, что

$$W_{ij}(p) = \frac{W_{ij}^{/}(p)}{\Delta_н(p)}, \qquad (9)$$

где $\Delta_н(p)$ – общий знаменатель для всех собственных и взаимных передаточных функций, определяется свойствами системы при всех замкнутых контурах, кроме тех, которые связаны с каналами стабилизации $\Phi_1(p)$ и $\Phi_2(p)$.

В случае m станций система описывается m·m передаточными функциями:

$$\Delta\omega_k = \sum_{i=1}^{m} W_{ki}(p) \cdot \Delta E_{ri}, \quad k=1,2,\ldots,m. \qquad (10)$$

Здесь $W_{ki}(p)$ – передаточная функция системы, определяющая зависимость k-ой выходной величины от i-го входного воздействия при $\Phi_i=0$.

Если подставить в (6) выражение для передаточных функций $W_{ij}(p)$ и $\Phi_i(p)$, то получим характеристический полином в следующем виде:

$$D(p) = \Delta_н \Phi_1^{//} \Phi_2^{//} - W_{11}^{/} \Phi_1^{/} \Phi_2^{//} - W_{22}^{/} \Phi_2^{/} \Phi_1^{//} - W_S^{/} \Phi_1^{/} \Phi_2^{/}, \qquad (11)$$

где $W_S^{/} = (W_{21}^{/} W_{12}^{/} - W_{11}^{/} W_{22}^{/}) / \Delta_н$.

Раскрывая выражение для передаточных функций через коэффициенты стабилизации, получим:

$$\begin{aligned} D(p) = \Delta_н (\Phi_1^{//} \Phi_2^{//}) - W_{11}^{/} \Phi_2^{/} (K_{0\omega}^{(1)} \Phi_1^{//} + K_{1\omega}^{(1)} p) - \\ - W_{22}^{/} \Phi_1^{/} (K_{0\omega}^{(2)} \Phi_2^{//} + K_{1\omega}^{(2)} p) - W_S^{/} (K_{0\omega}^{(1)} \Phi_1^{//} + K_{1\omega}^{(1)} p)(K_{0\omega}^{(2)} \Phi_2^{//} + K_{1\omega}^{(2)} p) \end{aligned} \qquad (12)$$

Характеристический полином (12) позволяет организовывать многомерную процедуру оптимизации параметров АРВ-СД.

Таким образом, разработан алгоритм кибернетического моделирования энергосистемы для целей выбора и координации настроек АРВ-СД нескольких станций. Исходными данными для построения такой модели являются передаточные функции режимных параметров стабилизации.

Необходимые для формирования модели собственные и взаимные передаточные функции можно получить по математическому описанию энергосистемы в виде дифференциальных уравнений.

Научный руководитель: к.т.н., зав. кафедрой УТС И.В. Игнатьев

Литература:

1. Булатов Ю.Н., Игнатьев И.В., Попик В.А. Методика выбора оптимальных настроек систем АРЧВ генераторов электростанций // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – №1(29). – С. 192-198.

2. Булатов Ю.Н., Игнатьев И.В., Стародубцев А.А. Методика повышения запаса устойчивости межсистемных связей электроэнергетических систем // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 3(11). – С. 101-105.

3. Игнатьев И.В., Пьянников Е.Д. Методика построения трехмерной параметрической области D-разбиения: Труды Братского государственного университета: Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – В 2 т. – Т.1. – Братск: БрГУ, 2008. – 229 с.

Т.А. Метлина, А.С. Мареев
Братский государственный университет, г. Братск
s.nea@yandex.ru

ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

В настоящее время используются множество систем технического зрения, но самыми главными и важными остаются система LiDAR и стереозрение.

Машинное зрение — это область автоматизации, связанная с технологией получения изображений объектов реального мира, их обработки и использования полученных данных для решения разного рода прикладных задач без полного или частичного участия человека.

Система LiDAR – это технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах. Простыми словами, объект освещается коротким световым импульсом, время его возврата измеряется и находится дальность расстояния до объекта.

Система сканирования LiDAR состоит из лазерного дальномера с вращающимся зеркалом и различными системами позиционирования и ориентации, включая GPS, инерциальный измерительный блок и другие датчики (рис.1). LiDAR использует 2D-лазерное сканирование для доступа к 360° панорамных данных в горизонтальной плоскости и к 40° в вертикальном поле зрения. Координаты XYZ каждого возврата импульса вычисляются и выравниваются по общей системе отсчета, используя расположение и ориентацию сканера, угол сканирования зеркала и диапазон наклона к объекту - сбор возвратов известен как облако точек. Такое облако точек может быть непосредственно визуализировано в 3D. В системах сканирования LiDAR имеются два типа зеркальной системы, включая наклонные и полигональные системы. Зеркала наклона являются наиболее распространенными. Наклонная ось зеркала отвечает за вертикальное поле зрения инструмента. Панорамное получение данных является результатом вращения корпуса системы относительно базы.

Стереозрение роботов работает так же, как наши глаза. Камеры находятся на некотором расстоянии друг от друга, поэтому видят один и тот же предмет под немного разным углом. Оценивая разницу двух изображений, робот может определять расстояние до предметов и отслеживать координаты (рис.2).

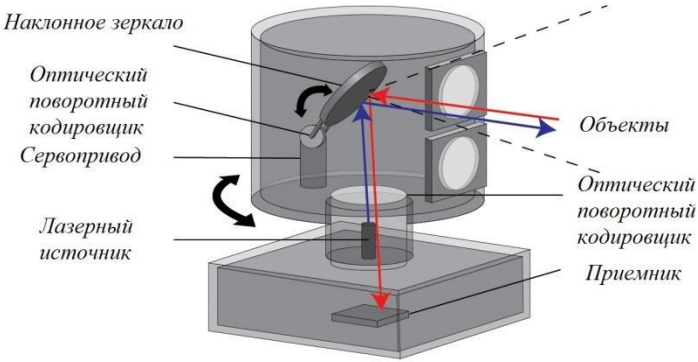


Рис.1. Система машинного зрения LiDAR

Например, робот-собака может оценить, сколько шагов нужно сделать до хозяина. Если перед роботом поставить два стула один за другим, без стереозрения она примет их за единый объект.

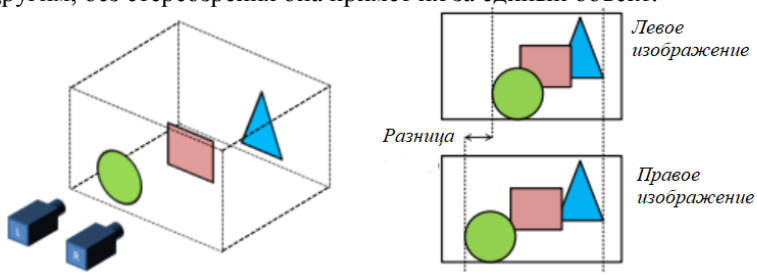


Рис.2. Схема получения изображения стереозрением

В некоторых системах технического зрения используются три видеокамеры. Одна является камерой кругового обзора, которая установлена неподвижно и имеет панорамный объектив для обеспечения кругового обзора вокруг робота, еще две камеры, которые обеспечивают стереозрение, закреплены на поворотном устройстве, имеющем две степени свободы.

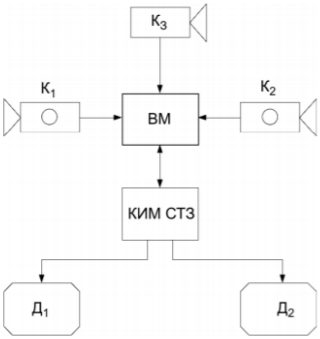


Рис.3. Функциональная схема стереозрения

Видеопоток с фронтальных камер $К_1$ и $К_2$, установленных на поворотном устройстве, а также с камеры кругового обзора ($К_3$) поступает на вычислительный модуль (ВМ). ВМ осуществляет выполнение заданной программной части, управление комплексом и обмен данными с контроллером исполнительных механизмов (КИМ СТЗ). КИМ СТЗ реализует управление сервоприводами или шаговыми двигателями ($Д_1$, $Д_2$), обеспечивая работу опорно-поворотного устройства (рис. 3).

Программное обеспечение для такого типа зрения может быть написано, например, на языке Python, который чаще всего и используется.

Исходя из стоимости этих двух систем зрения, можно сказать, что стереозрение имеет преимущество в виде небольшой цены – стоит купить даже одну камеру, поставить оптический разделитель и запрограммировать ее. LiDAR же обойдется в тысячи долларов. Устройство системы стереозрения гораздо проще, чем устройство LiDAR. Стереозрение дает возможность обойтись без использования датчиков измерения расстояния: инфракрасных датчиков, звуковых локаторов или лазерных радаров. Но сканеры LiDAR намного эффективнее традиционных лазерных дальномеров, которые измеряют только одну точку за раз. Стереозрение и система LiDAR имеют свои преимущества и недостатки. К примеру, в роботах компании Boston Dynamics для повышения эффективности установлены обе системы зрения.

Научные руководители: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин
доцент И.А.Седельников

Литература:

1. Стереозрение: обзор технологии. [Электронный ресурс]. – URL: URL: http://robodem.com/stereo .

2. Оптические энкодеры и сканирование LiDAR. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.renishaw.com/en/optical-encoders-and-lidar-scanning--39244 .

А.А. Славгородская
Братский государственный университет, г. Братск
feia@brstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМНО-РЕЖИМНЫХ СИТУАЦИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ НА ВЫБОР НАСТРОЕК АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ

В качестве исследуемого объекта была взята объединенная энергосистема (ОЭС) Сибири.

Эквивалентная схема энергосистемы представлена на рис.1.

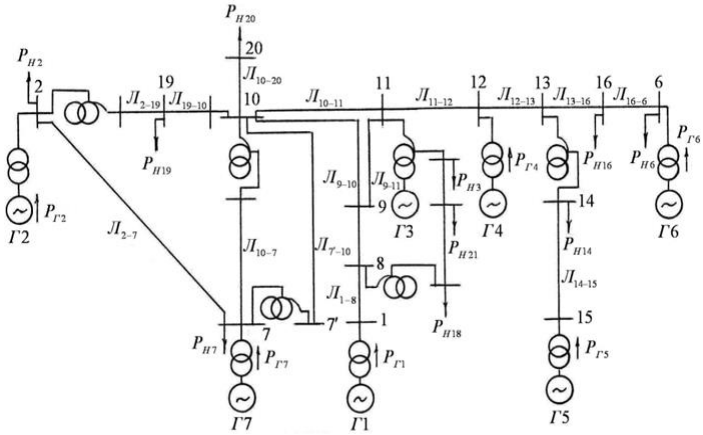


Рис.1. Эквивалентная схема ОЭС Сибири

Генератор Г1 отображает агрегаты Саяно-Шушенской ГЭС; Г2 – генераторы Новосибирской энергосистемы; ГЗ – генераторы Назаровской ГРЭС; Г4 и Г5 – генераторы Красноярской ГЭС, коммутируемые соответственно на шины 500 кВ и 220 кВ; Г6 – эквивалентный генератор Братско-Усть-Илимского энергоузла; Г7 –

Кузбасской энергосистемы. При моделировании учитывалось, что генераторы электрических станций Г4, Г5 и Г6 оснащены унифицированными АРВ-СД, Г2, Г3 и Г7 – регуляторами пропорционального типа, Г1 – АРВ-СДП. Исследовались два режима. Режим 1 соответствует ночному минимуму нагрузки энергосистемы (4 часа), а режим 2 – утреннему максимуму (10 часов).

Нагрузка генераторов сведена в таблицу 1.

Таблица 1 – Нагрузка генераторов

Режим	Нагрузка генераторов $P_г$, тыс.МВт						
	Г1	Г2	Г3	Г4	Г5	Г6	Г7
1	1,58	1,13	0,8	0,86	1,29	2,43	3,12
2	1,58	1,8	0,8	0,86	1,29	5,35	3,8

Результаты расчёта режимов работ иллюстрирует таблица 2

Таблица 2 – Результаты расчёта

Генератор	Режим	δ_{ri}	δ_{Ui}	δ_{0I}	E_{Qi}
		эл.гр.			о.е.
Г1	1	26,8	37,3	64,1	1,221
	2	26,7	11,0	37,7	1,228
Г2	1	27,7	4,02	31,72	1,608
	2	35,4	-8,57	26,83	2,048
Г3	1	40,9	11,9	52,8	1,552
	2	38,7	-15,0	23,7	1,625
Г4	1	34,56	6,27	40,83	1,249
	2	20,1	-26,45	-6,35	2,063
Г5	1	31,7	8,74	40,44	1,458
	2	20,74	-37,58	-16,84	2,121
Г6	1	19,5	-12,4	7,1	1,332
	2	25,64	-18,77	6,87	1,39
Г7	1	45,8	0	45,8	2,828
	2	55,5	0	55,5	3,747

В соответствии с общепринятыми допущениями, была составлена математическая модель.

Расчёт корней нестабилизированной системы показывает, что в первом режиме система является неустойчивой, а во втором имеет очень низкое демпфирование

При наличии в системе, состоящей из семи эквивалентных машин, четырёх генераторов, оснащённых АРВ-СД, в их режимных параметрах стабилизации наблюдаемыми оказались три пары

доминирующих корней: ω=(3,0-3,9)рад/с, ω=(4,3-4,8)рад/с и ω=(5,7-6,0)рад/с, которые и будут определять степень устойчивости системы.

Выполним координацию настроек АРВ-СД для первого режима. при этом синтез коэффициентов стабилизации будем выполнять с помощью метода D-разбиения по двум параметрам.

Выбрав для Г1 коэффициенты $K^{(1)}_{0\omega}$=10 и $K^{(1)}_{1\omega}$=5, перейдём к оптимизации канала стабилизации АРВ-СД станции Г6. Наилучшими являются настройки $K^{(6)}_{0\omega}$=10 и $K^{(6)}_{1\omega}$=0, которые обеспечивают максимальное демпфирование хорошо управляемой составляющей движения с ω=4 рад/с. Однако затухание корня с ω=4,58 рад/с ухудшается. И с системной точки зрения настройки $K^{(6)}_{0\omega}$=10, $K^{(6)}_{1\omega}$=10 лучше (табл.3).

Таблица 3 – Результаты расчётов

Станция	Коэффициенты стабилизации		
Г1 Г6	$K_{o\omega}$=1, $K_{1\omega}$=5 $K_{o\omega}$=10, $K_{1\omega}$=10	$K_{o\omega}$=10, $K_{1\omega}$=5 $K_{o\omega}$=10, $K_{1\omega}$=0	$K_{o\omega}$=10, $K_{1\omega}$=5 $K_{o\omega}$=30, $K_{1\omega}$=0
1	-0,06±j5.65	-0,016±j5.690	-0,014±j5.690
2	-0.52±j4.76	-0,35±j4.79	-0,75±j4.89
3	-0,944±j3.400	-1.29±j4.16	-1.13±j2.43

Варьирование коэффициентов стабилизации в квадрате реализуемых настроек позволило определить их оптимальную комбинацию: $K^{(4)}_{0\omega}$=$K^{(5)}_{0\omega}$=0, $K^{(4)}_{1\omega}$=$K^{(5)}_{1\omega}$=10, при этом на Г1 – $K^{(1)}_{0\omega}$=10, $K^{(1)}_{1\omega}$=5, а на Г6 – $K^{(6)}_{0\omega}$=10, $K^{(6)}_{1\omega}$=10. (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты расчётов

Коэффициенты стабилизации Г4,Г5 $K_{o\omega}/K_{1\omega}$			
10/10	2/5	0/10	10/0
-1,10±j6,43	-0,419±j5,770	-0,972±j5,540	-0,034±j6,00
-0,386±j4,880	-0,421±j4,630	-0,455±j4,690	-0,367±j4,62
-0,988±j3,420	-0,769±j3,430	-0,802±j3,450	-0,724±j3,44

Перейдём к рассмотрению результатов расчёта колебательной устойчивости второго режима. Кривые D-разбиения в плоскости коэффициентов стабилизации Г1 $K^{(1)}_{0\omega}$ и $K^{(1)}_{1\omega}$ показывают, что наилучшими настройками являются $K^{(1)}_{0\omega}$=10 и $K^{(1)}_{1\omega}$=5, если учитывать диапазон реализуемых на практике настроек, и $K^{(1)}_{0\omega}$=20 и $K^{(1)}_{1\omega}$=5 без учёта такового.

Если сравнивать полученные результаты с предыдущим режимом, мы видим, что и тогда настройки $K^{(1)}_{0\omega}$=10 и $K^{(1)}_{1\omega}$=5 были

оптимальными. Однако тогда степень устойчивости системы ограничивалась вещественной частью корня с ω=4,58 рад/с, а здесь корнем с ω=3,2 рад/с. Корень с мнимой частью ω=3,2 рад/с гораздо лучше управляем с точки Г6, чем корень с ω=4,58 рад/с. По этой причине выбираем для АРВ-СД Г1 следующие настроечные параметры: $K^{(1)}_{0\omega}$=20, $K^{(1)}_{1\omega}$=5.

Оптимальными являются настройки $K^{(5)}_{0\omega}$=0 и $K^{(5)}_{1\omega}$=10. При этом обеспечивается максимальное демпфирование составляющей с ω=6,0 рад/с, и не ухудшается затухание других составляющих, достигнутое за счёт Г1 и Г6 (табл.5).

Таблица 5 – Результаты расчётов

Станция	Коэффициенты стабилизации $K_{o\omega}/K_{1\omega}$, при $K^{(1)}_{o\omega}= K^{(1)}_{1\omega}= K^{(6)}_{o\omega}= K^{(6)}_{1\omega}$=10			
Г4 Г5	0/0 0/0	10/0 10/0	0/10 0/10	10/10 10/10
1	- 0,392±j5,970	-0,296±j6,310	-1,27±j6,51	-0,99±j6,90
2	- 0,216±j4,240	-0,165±j4,310	- 0,265±j4,380	-0,207±j4,4
3	- 0,526±j1,990	-0,508±j1,950	- 0,492±j1,990	-0,477±j1,91
Г4 Г5	5/5 5/5	2/5 2/5	0/0 10/10	10/10 0/0
1	- 0,720±j6,385	-0,769±j6,260	- 0,914±j6,760	-0,469±j6,04
2	- 0,219±j4,340	-0,239±j4,320	- 0,213±j4,330	-0,218±j4.,33
3	- 0,504±j1,970	-0,508±j1,980	- 0,511±j1,950	-0,490±j1,99

Таким образом, исследования демпферных свойств сложной энергосистемы показали, что изменение режима приводит к необходимости перенастройки каналов стабилизации регуляторов возбуждения. Если в исследуемом энергообъединении при переходе от режима ночного минимума к режиму дневного максимума изменить соответствующим образом коэффициенты стабилизации генераторов Г1 и Г6, то это позволит повысить степень устойчивости системы с α=0,48 до α=0,95

Максимальный эффект в улучшении демпферных свойств можно

достичь только при координации настроек АРВ-СД группы станций по определенной процедуре. Например, в рассматриваемой энергосистеме необходимо согласованно выбирать коэффициенты стабилизации двух станций – Г1 и Г6. Итак, адаптация настроек к изменению режима необходима, поскольку трудно найти такую комбинацию настроек АРВ-СД, которая удовлетворяла бы всем схемно-режимным условиям работы энергообъединения.

Научный руководитель: к.т.н., зав. кафедрой УТС И. В. Игнатьев

Литература:

1. Булатов Ю.Н., Игнатьев И.В., Попик В.А. Методика выбора оптимальных настроек систем АРЧВ генераторов электростанций // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – №1(29). – С. 192-198.
2. Булатов Ю.Н., Игнатьев И.В., Стародубцев А.А. Методика повышения запаса устойчивости межсистемных связей электроэнергетических систем // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 3(11). – С. 101-105.
3. Игнатьев И.В., Пьянников Е.Д. Методика построения трехмерной параметрической области D-разбиения: Труды Братского государственного университета: Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – В 2 т. – Т.1. – Братск: БрГУ, 2008. – 229 с.

В.Д. Тарасенко
Братский государственный университет, г. Братск,
feia@brstu.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Объектом исследования является сушильная камера АО «Группа «Илим» филиала в г. Братске. Для автоматизации данного объекта необходимо построить его математическую модель.

Целью данной работы является проведение идентификации объекта управления методом Симою и методом интегральных площадей, выявление наиболее точного метода для дальнейшей автоматизации объекта управления.

Для построения модели объекта управления использовали эксперементальную переходную характеристику изменения температуры пара в сушильной камере (Рис.1).

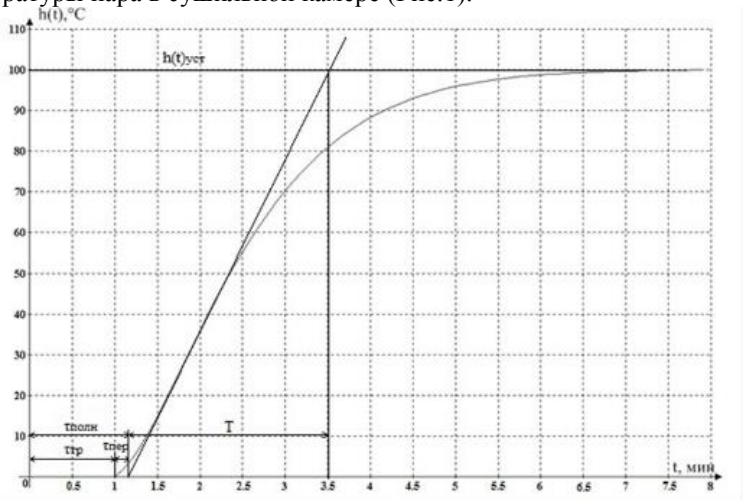


Рис.1. Экспериментальная переходная характеристика объекта

Для идентификации ОУ методом Симою все расчеты выполнили с помощью специализированного программного обеспечения ТАУ 2.1.

Получили график расчетной переходной характеристики и ее передаточную функцию (Рис.2).

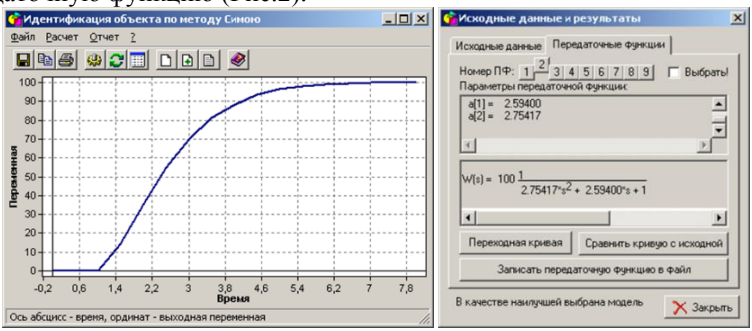


Рис.2. Расчётная переходная характеристика и передаточная функция

Для определения ошибки идентификации совместили расчетную и экспериментальную характеристики (Рис.3).

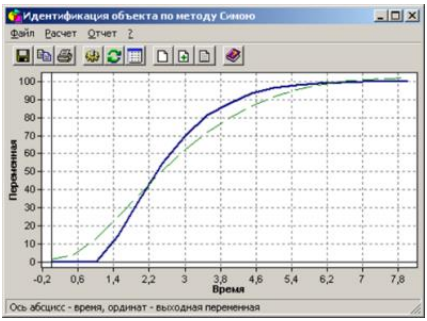


Рис.3. Совмещённая расчётная и экспериментальная характеристики

На основании найденной ошибки идентификации можно сделать вывод, что полученная модель объекта

$$W(p) = \frac{100e^{-1p}}{2{,}594p^2 + 2{,}75417p + 1}$$

определена с точностью 13%. Т.е. метод является не точным, в инженерных расчетах допускается ошибка менее 5%.

Для выполнения идентификация объекта управления методом интегральных площадей сместили ось ординат экспериментальной переходной характеристики на величину транспортного запаздывания. Задались интервалом разбиения кривой Δt. Приняли Δt=0,5 мин (Рис.4).

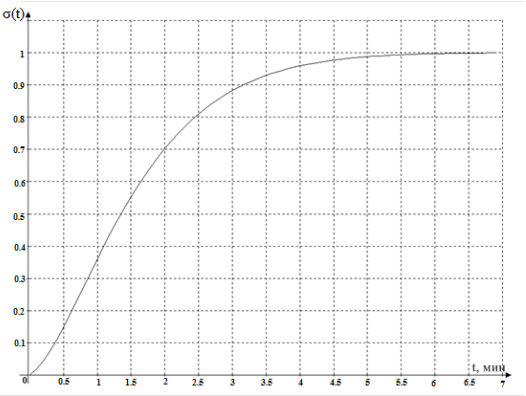


Рис.4. Экспериментальная кривая в безразмерном виде

В общем виде передаточная функция имеет вид (1):

$$W(p) = \frac{k}{T_n p^n + \cdots + T_2 p^2 + T_1 p^1 + 1}, \qquad (1)$$

где $T_1=F_1$, $T_2=F_2 \ldots T_n=F_n$

Вычислили интегральные площади:

$F_1=1{,}62$, $F_2=0{,}68$, $F_3=-0{,}43$

Поскольку $F_3 < 0$ получили апериодическое звено второго порядка.

Таким образом, найденная передаточная функция объекта управления:

$$W(p) = \frac{100 \cdot e^{-1{,}00}}{0{,}68p^2 + 1{,}6p + 1}$$

Построили расчетную характеристику объекта с помощью программного обеспечения Matlab Simulink. (Рис.5)

Проверили полученную модель на ошибку идентификации (Рис.6).

Ошибка идентификации метода составляет 2,0 %, а это значит, что полученная модель достаточно точно отражает динамические свойства объекта управления.

Исходя из расчетов, можно сделать вывод, что для сушильной камеры, принятой в качестве объекта управления, модель, полученная методом интегральных площадей, является наиболее точной.

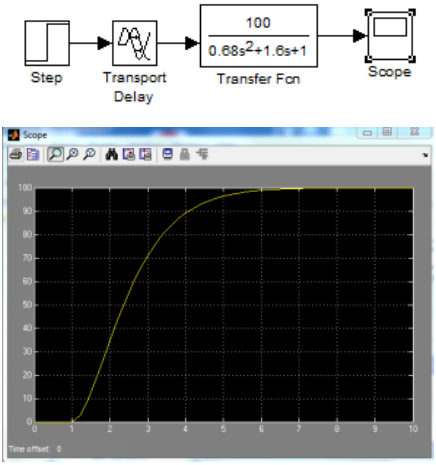


Рис.5. Расчетная характеристика объекта

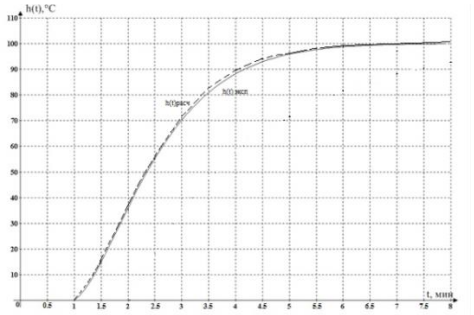


Рис.6. Сравнение экспериментальной и расчётной переходных характеристик объекта управления

Данную модель можно использовать для автоматизации и модернизации системы автоматического регулирования параметров сушильной камеры.

Научный руководитель: доцент В.Н. Толубаев

Литература:

1. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Выбор программируемых контроллеров в современном производстве//Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 269-271.

2. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Система сбора и представления информации об учете энергоресурсов //Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2006. Т. 2. С. 73-75.

3. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Выбор преобразователей температуры в современных системах автоматического регулирования//Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2015 Т. 1. С. 150-153.

4. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Управление динамическими свойствами сушильной установки. //Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2015. Т. 2. С.52-54.

5. Дойников, А. Н., Григорьева Т.А. Анализ динамических свойств и синтез моделей электроэнергетических систем по режимным частотным характеристикам//Информационные технологии и

проблемы математического моделирования сложных систем. - Иркутск: ИИТМ ИрГУПС, 2005.-С. 91 -102.

6. Григорьева Т.А. Управление динамическими свойствами в теплоэнергетических системах //Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 1. С. 54-58.

7. Т.А. Григорьева, В.Н. Толубаев: Автоматизация технологических процессов и производств: учебно-методическое пособие. - Братск: Изд-во БрГУ, 2017. – 107 с.

А.В. Трухина
Братский государственный университет, г. Братск,
trusevic@yandex.ru

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Регрессионный анализ является основным методом исследования экспериментальных данных путем анализа влияния одной или нескольких независимых переменных на зависимую.

В результате использования данного метода определена математическая модель, наиболее подходящая под экспериментальную зависимость, построен прогноз параметров и проведен анализ регрессионных остатков.

В качестве независимых переменных выступают данные с датчиков, установленных в котле БКЗ 79-35, а именно: x_1 – температура воды в барабане котла; x_2 – давление пара в барабане котла; x_3 – давление перегретого пара. Зависимой переменной является y – температура пара на выходе из котла.

Построение математической модели, расчет и отображение прогноза в графическом виде, анализ регрессионных остатков осуществляется с помощью интегрированного статистического пакета STADIA. В программе использована простая (зависимость переменной y от одной переменной x) и множественная (матрица, состоящая из независимых переменных x_1, x_2, …, x_i и зависимой переменной y) регрессии.

При выполнении расчетов методом простой регрессии были получены следующие результаты: для всех функций $y=f(x_i)$ наиболее оптимальной математической моделью является линейная, так как

значимость нулевой гипотезы близка к нулю. Результаты расчетов простой линейной регрессии приведены на рисунках 1, 2 и 3.

На каждом построенном регрессионном графике только одна экспериментальная точка из 15 выходит за доверительный интервал. Математические модели представлены на рисунках 4, 5 и 6.

ПРОСТАЯ РЕГРЕССИЯ. Файл:

Переменные: x1, x4

Модель: линейная Y = a0+a1*x

Y=x4, X=x1,

Коэфф.	a0	a1
Значение	-15,29	4,294
Ст.ошиб.	14,63	0,1949
Значим.	0,3159	3,538E-7

Источник	Сум.квадр.	Степ.св	Средн.квадр.
Регресс.	3,821E5	1	3,821E5
Остаточн	1,024E4	13	787,5
Вся	3,924E5	14	

Множеств R	R^2	R^2прив	Ст.ошиб.	F	Значим
0,98687	0,97391	0,9719	28,063	485,2	2,372E-8

Гипотеза 1: <Регрессионная модель адекватна экспериментальным данным>

Хэксп	Уэксп	Урегр	остаток	Ст.остат	Ст.ошиб	Довер.инт
0	0	-15,29	15,29	0,5655	31,65	67,61
6	20	10,47	9,529	0,3524	31,2	66,64
15	40	49,12	-9,116	-0,3371	30,59	65,35
25	70	92,05	-22,05	-0,8155	30,02	64,14
45	150	177,9	-27,93	-1,033	29,25	62,49
55	190	220,9	-30,87	-1,142	29,05	62,06
65	280	263,8	16,19	0,5988	28,98	61,92
75	350	306,7	43,25	1,599	29,05	62,05
85	410	349,7	60,32	2,23	29,24	62,46
95	410	392,6	17,38	0,6426	29,56	63,15
98	410	405,5	4,495	0,1662	29,68	63,41
102	410	422,7	-12,68	-0,4689	29,86	63,79
104	410	431,3	-21,27	-0,7865	29,95	63,99
104	410	431,3	-21,27	-0,7865	29,95	63,99
104	410	431,3	-21,27	-0,7865	29,95	63,99

Рис. 1. Результаты расчета простой линейной регрессии для зависимости температуры пара на выходе котла от температуры воды в барабане котла

Результаты

ПРОСТАЯ РЕГРЕССИЯ. Файл:

Переменные: x2, x4

Модель: линейная Y = a0+a1*x

Y=x4, X=x2,

Коэфф.	a0	a1
Значение	24,07	9,011
Ст.ошиб.	8,367	0,2605
Значим.	0,01252	1,313E-7

Источник	Сум.квадр.	Степ.св	Средн.квадр.
Регресс.	3,882E5	1	3,882E5
Остаточн	4217	13	324,4
Вся	3,924E5	14	

Множеств R	R^2	R^2прив	Ст.ошиб.	F	Значим
0,99461	0,98925	0,98843	18,011	1197	2,138E-8

Гипотеза 1: <Регрессионная модель адекватна экспериментальным данным>

Хэксп	Уэксп	Урегр	остаток	Ст.остат	Ст.ошиб	Довер.инт
0	0	24,07	-24,07	-1,387	19,86	42,43
0,5	20	28,58	-8,579	-0,4943	19,81	42,33
2,5	40	46,6	-6,601	-0,3804	19,64	41,96
4,5	70	64,62	5,377	0,3098	19,48	41,61
9	150	105,2	44,83	2,583	19,16	40,94
20	190	204,3	-14,29	-0,8235	18,68	39,91
28	280	276,4	3,619	0,2085	18,6	39,75
35	350	339,5	10,54	0,6074	18,73	40,01
40	410	384,5	25,49	1,469	18,92	40,42
42	410	402,5	7,466	0,4302	19,02	40,64
43	410	411,5	-1,545	-0,08904	19,08	40,76
44	410	420,6	-10,56	-0,6082	19,14	40,89
44	410	420,6	-10,56	-0,6082	19,14	40,89
44	410	420,6	-10,56	-0,6082	19,14	40,89
44	410	420,6	-10,56	-0,6082	19,14	40,89

Рис. 2. Результаты расчета простой линейной регрессии для зависимости температуры пара на выходе котла от давления пара в барабане котла

Результаты

ПРОСТАЯ РЕГРЕССИЯ. файл:

Переменные: x3, x4

Модель: линейная Y = a0+a1*x

Y=x4, X=x3,

Коэфф.	a0	a1
Значение	27,24	9,934
Ст.ошиб.	8,495	0,2943
Значим.	0,006874	1,372E-7

Источник	Сум.квадр.	Степ.св	Средн.квадр.
Регресс.	3,879E5	1	3,879E5
Остаточн	4426	13	340,5
Вся	3,924E5	14	

Множеств R	R^2	R^2прив	Ст.ошиб.	F	Значим
0,99434	0,98872	0,98785	18,452	1139	2,147E-8

Гипотеза 1: <Регрессионная модель адекватна экспериментальным данным>

Xэксп	Yэксп	Yрегр	остаток	Ст.остат	Ст.ошиб	Довер.инт
0	0	27,24	-27,24	-1,532	20,31	43,4
1	20	37,18	-17,18	-0,9659	20,21	43,18
2	40	47,11	-7,11	-0,3998	20,12	42,98
3,5	70	62,01	7,989	0,4493	19,98	42,68
7	150	96,78	53,22	2,993	19,7	42,08
17	190	196,1	-6,121	-0,3443	19,17	40,94
25	280	275,6	4,406	0,2478	19,06	40,72
32	350	345,1	4,867	0,2737	19,21	41,03
37	410	394,8	15,2	0,8546	19,44	41,54
39	410	414,7	-4,672	-0,2627	19,57	41,8
39	410	414,7	-4,672	-0,2627	19,57	41,8
39	410	414,7	-4,672	-0,2627	19,57	41,8
39	410	414,7	-4,672	-0,2627	19,57	41,8
39	410	414,7	-4,672	-0,2627	19,57	41,8
39	410	414,7	-4,672	-0,2627	19,57	41,8

Рис. 3. Результаты расчета простой линейной регрессии для зависимости температуры пара на выходе котла от давления перегретого пара

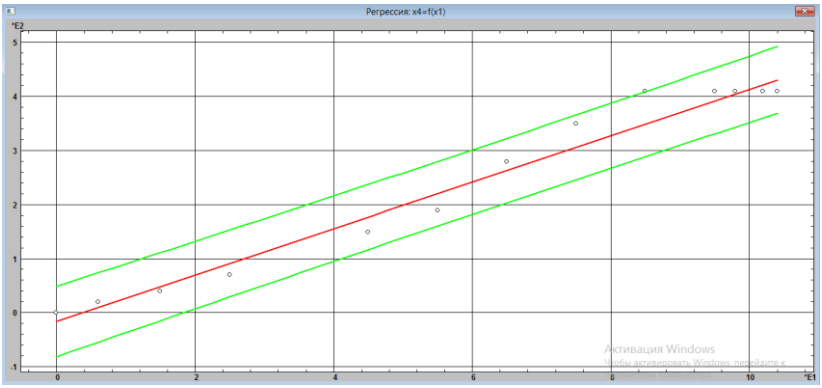


Рис. 4. Регрессионный график зависимости температуры пара на выходе из котла от температуры воды в барабане котла

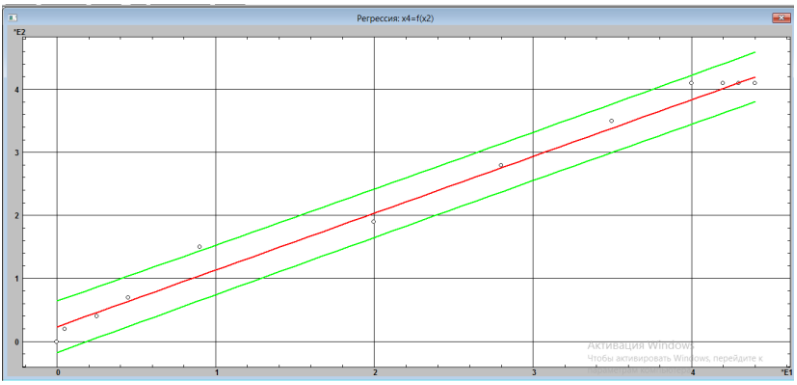


Рис. 5. Регрессионный график зависимости температуры пара на выходе из котла от давления пара в барабане котла

Метод множественной регрессии также показал, что регрессионная модель адекватна экспериментальным данным, а распределение остатков однородно.

Данный метод исследования экспериментальных данных позволил оценить влияние параметров температуры воды в барабане котла, давления пара в барабане котла, давления перегретого пара на температуру пара на выходе из котла.

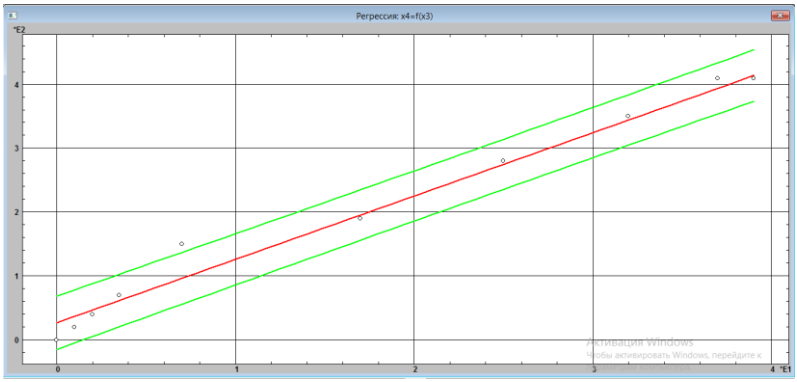


Рис. 6. Регрессионный график зависимости температуры пара на выходе из котла от давления перегретого пара.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.А. Григорьева

Литература:

1. Дойников А.Н., Григорьева Т.А. Методика формирования модели многосвязной системы для адаптивного управления качеством переходных процессов с использованием регуляторов на смежных станциях. Братск, 2004. Рукоп. деп. в ВИНИТИ № 1367-В2004 06.08.2004.

2. Дойников А.Н., Крумин О.К., Григорьева Т.А. Методика и алгоритм адаптивной стабилизации многосвязной электроэнергетической системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2004. Т. 2. № 18. С. 31-36.

3. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Система сбора и представления информации об учете энергоресурсов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2006. Т. 2. С. 73-75.

4. Григорьева Т.А., Толубаев В.Н. Выбор преобразователей температуры в современных системах автоматического регулирования // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2015 Т. 1. С. 150-153.

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Руководитель секции
зав. кафедрой Управления в технических системах
канд. техн. наук, профессор И.В. Игнатьев

Д.С. Бурлак
Братский государственный университет, г. Братск
burlak.97@inbox.ru

СПУТНИКИ СВЯЗИ

Спутниковые системы связи известны давно, и используются для ретрансляции радиосигнала между точками на поверхности Земли, то есть для передачи различных сигналов на протяженные расстояния. Без них мы бы не узнали, что такое прямые эфиры телевизионных программ, телефонные звонки, откуда и кому угодно, и интернет в любой точке мира.

Прежде чем рассматривать принцип действия спутника, необходимо вспомнить, что Земля имеет форму шара. Радиоволны, на которых в виде электромагнитных колебаний передается качественное изображение или звук, распространяются по прямой линии и не могут огибать Землю. Конечно, есть и такие волны, которые отражаются от ионосферы – особого слоя, окружающего Землю, и снова попадают на поверхность планеты, за многие сотни и даже тысячи километров. Их еще называют низко-, средне- и высокочастотными волнами.

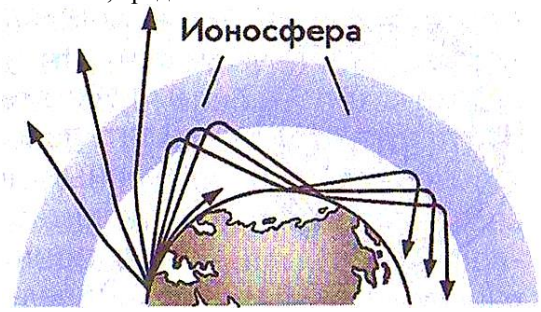


Рис. 1. Распространение радиосвязи

Но с их помощью невозможно передать телевизионное изображение высокого качества, нельзя передать качественный звук,

ни большой объем данных. Потому что эти волны имеют сравнительно малый частотный диапазон (до 30 МГц). Для передачи качественного изображения или звука необходимы ультра- и сверхвысокочастотные волны (УВЧ, СВЧ). Но как уже упоминалось выше: они передаются по прямой линии. От ионосферы они не отражаются и даже выходят за её пределы – в открытый космос. Но как сделать так, чтобы эти волны смогли вернуться на Землю? Верно! Необходимо «поймать» эти волны в космосе и перенаправить их обратно на Землю.

Именно для этого и необходим спутник. Он служит зеркалом для радиоволн. Причем таким зеркалом, которое усиливает сигнал и перенаправляет его на очень обширную территорию Земли. Эта территория называется зоной покрытия спутника, то есть зоной, в пределах которой обеспечивается уровень сигнала от спутника, необходимого для их приема с заданным качеством.

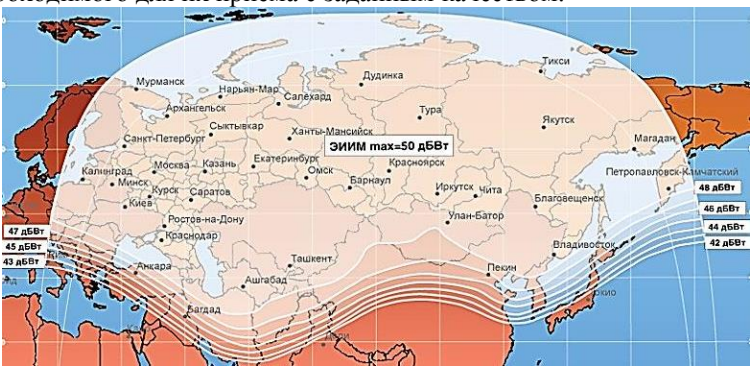


Рис. 2. Зона покрытия спутника YAMAL-202

В качестве приема и передачи сигнала используются антенны и транспондеры (радиоответчики) – автоматические устройства, посылающие сигнал в ответ на принятый сигнал, предварительно усилив его.

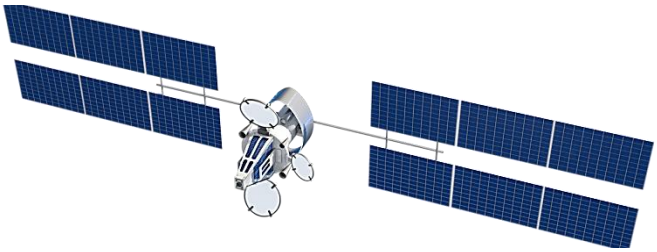


Рис. 3. Спутник связи

Спутники используются каждый раз, когда требуется передача сигнала на большие расстояния. Этот способ передачи сигнала является более простым и экономически эффективным по сравнению с прокладыванием кабеля. Спутник обеспечивает более высокую пропускную способность и может покрыть больше расстояния, нежели одна наземная антенна.

Другими словами, спутник – очень высокая антенна, расположенная на расстоянии 36 000 км от поверхности Земли. Такая высота необходима для синхронизации угловой скорости вращения спутника вокруг Земли со скоростью вращения самой планеты вокруг собственной оси. Это позволяет спутнику оставаться неподвижным над одной и той же точкой поверхности. Это называется геостационарная орбита (ГСО). Если спутник будет находиться чуть ближе к Земле, то он начнет её обгонять, а если выше ГСО – будет отставать.

Рис. 4. Геостационарная орбита

Несмотря на то, что ГСО очень широко используется на практике, она все же подходит не для всех ситуаций. Ведь геостационарная спутниковая орбита может пролегать исключительно над экватором, в связи с чем отсутствует покрытие полярных широт. Для устранения этого недостатка используют спутники, находящиеся на эллиптической орбите, но в таком случае невозможно поддерживать связь в любой момент времени. Нужно ждать тот момент, когда спутник будет проходить над определенной зоной видимости наземных антенн: момент, когда спутник будет пролетать над головой.

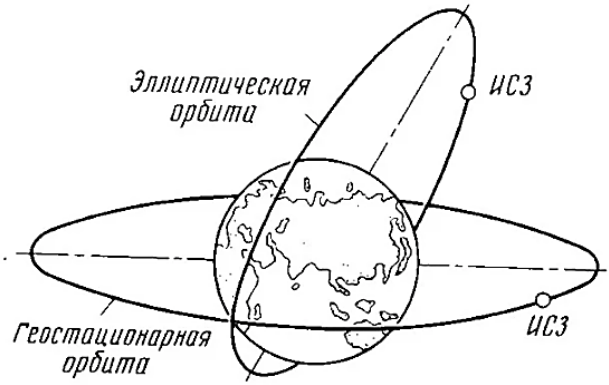


Рис. 5. Эллиптическая орбита

В настоящее время спутники связи используются повседневно, и мы даже не замечаем этого. Радиосигналы излучаются с земных станций спутниковой связи. Спутник на ГСО принимает эти сигналы, усиливает их и переизлучает на Землю, только теперь это излучение охватывает огромную территорию. Принимать радиосигнал могут абоненты с помощью тех же спутниковых тарелок, только уже меньшего диаметра. Это может быть разная информация. Телефония – сегодня с помощью спутниковых телефонов общение может происходить напрямую. Интернет – благодаря спутникам связи он стал по-настоящему «глобальной мировой сетью». Телевидение – прямые включения откуда угодно. В этом и есть главное предназначение этих космических аппаратов. Спутники связи делают мир проще и доступнее.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин

Литература:

1. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи //Учебное пособие для вузов. Под ред. А.М. Сомова. – 2014. – 244с.

2. Зачем нужны телебашни и спутники связи? [Электронный ресурс]. – URL: http://fizikaklass.ru/fizika-11-klass/elektrodinamika/8527.html (дата обращения: 18.04.2018)

3. Сальников М.К. Теория электрической связи. Энергетический расчет спутникового канала: Методические указания к выполнению курсового проекта /Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2008. – 65с.

4. Кириенко Артем. Спутниковый телефон: возможности и характеристики. Спутниковая связь, 2016. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.syl.ru/article/281241/new_sputnikovyiy-telefon-vozmojnosti-i-harakteristiki-sputnikovaya-svyaz (дата обращения 18.04.2018)

5. Поваляев Егор, Прохоров Александр. Персональная спутниковая связь, 2001. [Электронный ресурс]. – URL: https://compress.ru/article.aspx?id=11523 (дата обращения 19.04.2018)

6. Спутник связи. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Спутник_связи (дата обращения: 17.04.2018)

7. Спутниковая связь. [Электронный ресурс]. – URL: http://radteh.ru/raznoe/73.html (дата обращения 18.04.18)

К.О. Виноградова
Братский государственный университет, Братск
kds@brstu.ru

СВЯЗЬ НА БОРТУ САМОЛЁТОВ

В настоящее время наибольшее распространение в качестве среды передачи получили волоконно-оптические линии связи. Их активно используют для передачи данных на высоких скоростях до 43 Тбит/с. Однако у ВОЛС имеются ряд недостатков: стоимость интерфейсного оборудования, монтаж и обслуживание оптических линий, и наличие специальной защиты волокна. Почти все эти проблемы решаются в квантовых сетях.

До настоящего времени пользоваться мобильными устройствами на борту самолета было категорически запрещено. Это мотивировали негативным влиянием мобильных устройств на оборудование лайнеров. На сегодняшний день данные ограничения существуют лишь на момент взлета и посадки - нас убедительно просят выключать мобильные устройства. Компания «Аэрофлот» решила сделать жизнь своих пассажиров проще, а полёт более приятным.

Благодаря современным технологиям мы можем пользоваться услугами связи на высоте девять тысяч метров и на скорости 700

км/час. Например, с помощью сервиса Wi-Fi в самолете можно в любой момент проверить электронную почту, загрузить приложение или выйти в социальную сеть.

Первый способ организации магистрального канала называется «Земля-воздух». Технология работает так же, как обычный интернет в мобильном устройстве или роутере. На Земле установлены базовые станции, направленные вверх — при этом используются уже существующие вышки сотовых операторов. На ВС (воздушном судне) снизу устанавливают антенну, внутри — модем. Именно так работает Wi-Fi в метро или в «Сапсане».

Сеть работает в стандарте CDMA-2000 на частоте 850 МГц и использует технологии EV-DO Rev.A и Rev.B — грубо говоря, то же самое, что бывший «Скай Линк», но только на других частотах (суммарная полоса — 4 МГц). В Rev. A ширина канала составляет 3,1 Мбит/сек на самолет, в Rev.B — 9,6 Мбит/сек. По современным меркам это немного, поэтому в ближайшее время сеть будет переведена на LTE, что позволит значительно увеличить скорость доступа (рис. 1).

Рис.1. Расположение антенны в нижней части ВС

Единственный минус у технологии она работает только при полетах над сушей, в то время как на долгих трансконтинентальных маршрутах большая часть пути пролегает над океаном, где базовые станции установить нельзя.

Второй способ организовывается на высоте нескольких сотен километров над Землей находятся на геостационарных орбитах спутники. С Землей он связан через наземную станцию с направленными антеннами (рис.2), а с самолетом — с помощью антенн в верхней части фюзеляжа (рис.3).

Рис.2. Наземные станции с направленными антеннами

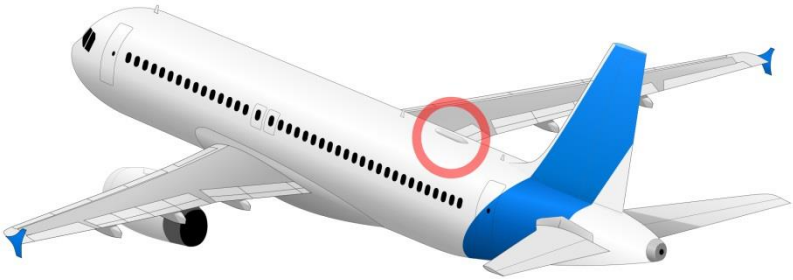


Рис. 3. Расположение антенны в верхней части ВС

Существует несколько разных спутниковых провайдеров такие как: On Air (Inmarsat), Aeromobile, GoGo, Intelsat, Мегафон предоставляющих доступ в интернет для пассажиров воздушных судов, технология у всех в основном одинаковая, отличаются только используемые спутники и диапазоны частот. Чем выше частота — тем меньше может быть антенна и тем выше может быть мощность сигнала, а значит, соотношение сигнал/шум и, в итоге, скорость передачи данных.

В старых системах используется *L*-диапазон (около 1,5 ГГц), и скорость передачи данных составляет 432 Кбит/сек при использовании

одного канала и 864 — при объединении двух (на весь самолет!). Такая технология до сих пор неофициально работает на нескольких самолетах «Аэрофлота», и доступ там раздается не через Wi-Fi, а через базовую станцию с GSM/GPRS.

В современных системах используются коротковолновые диапазоны K, Ku и Ka: 18-27, 26,5-40 и 12-18 ГГц соответственно, здесь скорость передачи данных может составлять порядка 50 Мбит/сек и даже больше, до 70 Мбит/сек.

Но в реальности средняя скорость будет составлять около 25 Мбит/сек на все воздушное судно (при пингах порядка 500-1000 мс) и она так же, делится на всех пользователей, находящихся на борту, при этом спутниковые каналы сами по себе очень дорого стоят. Поэтому провайдеры ограничивают доступ экономическими методами.

У компании Delta за доступ нужно заплатить 28 долларов в сутки (понятно, что лететь вы будете меньше суток, просто это означает независимость от продолжительности полета). В других авиакомпаниях есть рейсы, где интернет бесплатный или стоит 1 доллар в час, но все это просто включено в стоимость самого билета (рис. 4).

Тарифы для A330	Время трафика	Мб, включенных в тариф	Цена*
Small	15 мин	10	$ 5
Medium	1 час	30	$ 15
Large	3 часа	100	$ 40
Infinite	Весь полет	150	$ 50

Рис.4. Тарификация пакета- интернет на ВС Airbus 330

При этом за 15 минут можно израсходовать не более 10 МБ, за час 30 МБ, за три часа 100 МБ и за весь полет – 150 МБ. Но зато первые 5 минут и 5 МБ предоставляются бесплатно.

В России совместный проект по оказанию услуг сотовой связи в стандарте GSM реализовали «Аэрофлот» и «МегаФон» в 2009 году. Инвестиции «МегаФона» составили более 150 млн. рублей.

В настоящее время большая часть пассажирских перевозок осуществляется с помощью воздушных судов, поэтому передача данных во время полета является актуальной.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин

Литература:

1. Как работает Wi-Fi в самолёте [Электронный ресурс]. – URL: https://hi-tech.mail.ru/review/wifi-on-board/
2. Спутниковая связь на борту самолёта [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.billing.ru/blog/kak-rabotaet-svyaz-na-bortu-samoletov]
3. Стоимость беспроводного интернета на борту самолёта [Электронный ресурс]. – URL: https://foren.germany.ru/arch/wissen/f/12133708.html
4. Газета.ru «От чего сети не летают» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gazeta.ru/tech/2015/08/26/7720535/fast-internet-in-a-plane.shtml

Д.Н. Дотоль
Братский государственный университет, Братск
kds@brstu.ru

ПРЕИМУЩЕСТВА КВАНТОВОЙ СЕТИ ПО СРАВНЕНИЮ С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ СВЯЗИ

В настоящее время наибольшее распространение в качестве среды передачи получили волоконно-оптические линии связи. Их активно используют для передачи данных на высоких скоростях до 43 Тбит/с. Однако у ВОЛС имеются ряд недостатков: стоимость интерфейсного оборудования, монтаж и обслуживание оптических линий, и наличие специальной защиты волокна. Почти все эти проблемы решаются в квантовых сетях.

Квантовая сеть — коммуникационная сеть, защищающая передаваемые данные с использованием фундаментальных законов квантовой механики. Является практической реализацией так называемой квантовой криптографии. Квантовые сети формируют важный элемент квантовых вычислений и квантовых систем криптографии. Они допускают транспортировку квантовой информации между физически разделенными квантовыми системами. В распределенных квантовых вычислениях сетевые узлы в сети могут обрабатывать информацию, выполняя функцию квантовых вентилей. Безопасная передача данных может быть реализована с помощью алгоритмов квантового распределения ключей. В квантовых сетях, использующих в качестве среды передачи оптоволокно или свободное пространство, важную роль играет передача чистых квантовых

состояний в виде фотонов на большие расстояния. Идея квантовых сетей активно стала обсуждаться после успешных экспериментов по квантовой телепортации.

Множество существующих квантовых сетей разработаны для поддержки квантового распределения ключей (QKD) между классическими вычислительными средами. Такое применение квантовых сетей упрощает совместное использование секретного ключа шифрования между двумя сторонами. В отличие от классических алгоритмов распределения ключей, таких, как алгоритм обмена ключами Диффи-Хеллмана, квантовое распределение ключей обеспечивает безопасность через физические свойства, а не трудность математической задачи. Первый протокол квантового распределения ключей, BB84 (рис. 1), был предложен Чарльзом Беннетом и Жилем Брассаром в 1984 году и был реализован во многих исследовательских квантовых сетях.

Рис. 1. Диаграмма протокола BB84

В этом протоколе кубиты отправлены от одной стороны к другой через небезопасную квантовую сеть. Из-за свойств квантовой механики теоремы о запрете клонирования, подслушивающий не может определить ключ, не будучи обнаруженным отправителем и получателем. В то время как протокол BB84 полагается на суперпозицию состояний кубита, чтобы обнаружить подслушивание, другие протоколы используют запутанные кубиты. Это протоколы E91, предложенный Артуром Экертом и BBM92, предложенный Чарльзом Беннетом, Жилем Брассаром и Дэвидом Мермином

В большой системе квантовых вычислений, множество отдельных квантовых компьютеров могут взаимодействовать и передавать данные через сеть. При таком взаимодействии, для сети

выгодно поддерживать передачу запутанных кубитов. Рассмотрим следующий сценарий: K квантовых компьютера, каждый из них содержит N кубитов. В классической сети для передачи полного состояния одного квантового компьютера потребуется 2^N бит данных. Однако, используя квантовую сеть, состояние можно передать с помощью Nкубитов. Аналогично, если возможно достичь запутанности между всеми компьютерами в сети, у системы в целом будет 2^{K*N} объединённых пространств состояний, против $K*2^N$ для классически подключенных квантовых компьютеров.

Основной способ взаимодействия квантовых сетей на больших расстояниях — это использование оптических сетей и фотонных кубитов. Оптические сети имеют преимущество повторного использования существующего оптоволокна. А свободные сети могут быть реализованы так, что смогут передавать квантовую информацию по воздуху или в вакууме.

1)Оптоволоконные сети.

Оптические сети могут быть реализованы, используя существующие телекоммуникации и телекоммуникационное оборудование. Со стороны отправителя, источник одиночных фотонов можно создать, сильно ослабив стандартный телекоммуникационный лазер, так что среднее число испускаемых фотонов за импульс будет меньше единицы. Чтобы получить данный эффект, используется лавинный фотодиод. Также могут использоваться различные методы регулировки фазы и поляризации, такие как разделители луча и интерферометры. В случае протоколов, основанных на запутывании, запутанные фотоны генерируются через спонтанное параметрическое рассеяние. В обоих случаях телекоммуникационное волокно может быть мультиплексным для отправления не квантовой синхронизации и управляющих сигналов.

2)Сети свободного пространства.

Квантовые сети свободного пространства подобно оптоволоконным сетям, но полагаются на угол обзора между связывающимися сторонами вместо использования оптоволоконного соединения. Сети свободного пространства обычно поддерживают более высокую скорость передачи, чем оптоволоконные сети и не учитывают поляризационную перестановку, вызванную оптоволокном.

3)Квантовая электродинамика полости.

Телекоммуникационные лазеры и спонтанное параметрическое рассеяние, объединенные с фотодетекторами, могут использоваться для квантового распределения ключей. Однако для запутанных квантовых систем важно сохранять и ретранслировать квантовую

информацию, не разрушая базовые состояния. Квантовая электродинамика полости — один из возможных методов решения данной задачи. Здесь фотонные квантовые состояния могут быть переданы как в атомарные квантовые состояния, хранящиеся в отдельных атомах в оптических полостях, так и из них. В дополнение к созданию удаленной запутанности между удаленными атомами, это позволяет осуществлять передачу квантовых состояний между отдельными атомами, используя оптоволокно (рис. 2).

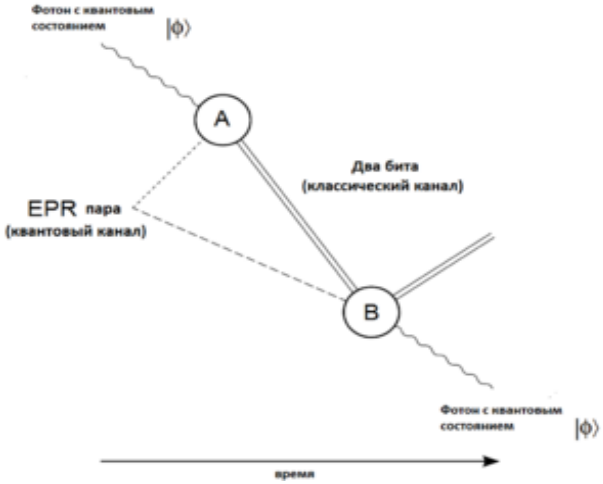


Рис. 2. Диаграмма квантовой телепортации

Передаче данных на дальние расстояния препятствуют эффекты потери сигнала и декогерентность, присущая большинству транспортных сред, таких как оптоволокно. При классической передаче данных используются усилители, чтобы улучшить сигнал во время передачи, однако в квантовых сетях, согласно теореме о запрете клонирования, усилители использовать нельзя. Альтернативой усилителям в квантовых сетях является квантовая телепортация, передающая квантовую информацию (кубиты) получателю. Это позволяет избежать проблем, связанных с отправкой одиночных фотонов по длинной линии передачи с высокими потерями. Однако для осуществления квантовой телепортации необходима пара запутанных кубитов, по одному на каждом конце линии передачи. Квантовые повторители позволяют создать запутанность в удаленных узлах без физической отправки запутанного кубита на всё расстояние. В этом случае квантовая сеть состоит из множества коротких каналов связи, длинной десятки или сотни километров. В простейшем случае, с

одним повторителем, создается две пары запутанных кубитов: $|A\rangle$ и $|R_a\rangle$ расположенные на отправителе и повторителе, а вторая пара: $|B\rangle$ и $|R_b\rangle$ на повторителе и получателе соответственно. Эти начальные запутанные кубиты легко создать, например, с помощью спонтанного параметрического рассеяния, физически передавая один кубит на соседний узел. При этом повторитель может выполнить измерение состояния Белла на кубитах $|R_a\rangle$ и $|R_b\rangle$ телепортировав таким образом квантовое состояние $|R_a\rangle$ в $|B\rangle$ Это имеет эффект «свопинга» запутанности, таким образом, что $|A\rangle$ и $|B\rangle$ теперь запутанны на расстоянии в 2 раза сильнее, чем начальные запутанные пары кубитов. Сети таких повторителей могут использоваться как линейно, так и иерархическим образом, для создания запутанности на большие расстояния.

Ошибки при передаче данных можно разделить на два типа: ошибки потерь (из-за свойств оптоволокна/среды) и ошибки работы (такие как деполяризация, дефазировка и т. д.). В то время как избыточность можно использовать, чтобы обнаружить и исправить ошибки в классической сети, созданию избыточных кубитов препятствует теорема о запрете клонирования. Поэтому введены другие типы исправления ошибок, как код Шора или один из более общих и эффективных алгоритмов. Принцип их работы в распределении квантовой информации через многократно запутанные кубиты так, что и ошибки работы, и ошибки потерь могут быть исправлены. В дополнение к квантовому исправлению ошибок, классическое исправление ошибок может использоваться квантовыми сетями в особых случаях, таких как квантовое распределение ключа. В этих случаях цель квантовой передачи состоит в том, чтобы надежно передать строку классических битов. Например, код Хемминга может быть применен к строке битов до кодирования и передачи данных в квантовой сети.

Высказываются предложения создания квантовых сетей, в которых узлы хранили бы квантовые состояния и обменивались ими через «квантовую сеть» с целью создания территориально распределенных квантово-запутанных систем. Последними достижениями в этой области могут похвастаться китайские учёные, они смогли телепортировать квантовые частицы на рекордное расстояние в 1200 километров. Разработки помогут создать защищенный от хакеров интернет. Эксперимент был основан на «квантовой запутанности» – явлении, при котором квантовые состояния фотонов и других объектов сохраняют зависимость друг от друга даже на очень дальних расстояниях. Ранее ученым удавалось

разнести фотоны не далее, чем на несколько сотен километров друг от друга. Качественные изменения произошли после того, как исследователи решили задействовать космический спутник «Моцзы». С околоземной орбиты фотоны посылали на наземные станции, между которыми лежит более тысячи километров. При этом образовавшиеся между ними связи не разрушились.

Стоит отметить, что квантовые сети позволяют создавать недоступный для третьих лиц канал передачи информации. При попытке несанкционированного доступа все данные будут уничтожены. При этом эффективность передачи на 17 порядков превышает показатели широко используемых оптоволоконных кабелей.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин

Литература:

1. Квантовая сеть [Электронный ресурс] . – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Квантовая_сеть
2. Квантовая сеть мощнейшая защита по законам физики [Электронный ресурс]. – URL: https://ria.ru/science/20170513/1494210993.html
3. Бэйли Д.. «Волоконная оптика. Теория и практика». КУДИЦ-Прес, 2008 – 320 с.
4. Quantum internet is 13 years away. Wait, what's quantum internet? [Электронный ресурс]. – URL: https://www.wired.com/story/quantum-internet-is-13-years-away-wait-whats-quantum-internet/

С.Р. Егоров
Братский государственный университет, Братск
kds@brstu.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ CWDM И DWDM

Рассмотрены технологии CWDM и DWDM, в настоящее время являющиеся неотъемлемой частью информационного общества. Проведён сравнительный анализ. Проанализированы тенденции развития этих технологии.

С течением времени потребность в передачи больших объемов и потоков информации стала неотъемлемой частью информационного общества. Такие технологии как ATM, IP, SDH (STM-16/64) в

ближайшем будущем могут, не справится с «взрывным» ростом передаваемой информации. В связи с этим в настоящее время все более актуальным стало применение технологий CWDM и DWDM. В чем же отличие в применении таких технологий? Для того чтобы найти ответ на этот вопрос необходимо произвести сравнительный анализ, что является целью данной статьи. Технологии похожи в принципах организации каналов связи, ввода-вывода каналов, но имеют разную степень технологической близости друг к другу, что в значительной степени сказывается на параметрах линии и стоимости построения магистралей на оборудовании с этими технологиями.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) — технология плотного мультиплексирования с разделением по длине волны. Суть технологии DWDM заключается в том, что по одному оптическому волокну передаются несколько информационных каналов на различных длинах волн, что позволяет максимально эффективно использовать возможности волокна. Это позволяет максимально увеличить пропускную способность ВОЛС, не прокладывая новые кабели и не устанавливая новое оборудование. Кроме того, работать с несколькими каналами в волокне намного удобнее, чем работать с разными волокнами, так как для обработки любого числа каналов требуется один мультиплексор DWDM.

Суть технологии спектрального (оптического) уплотнения заключается в возможности организации множества раздельных клиентских сигналов (SDH, Ethernet) по одному оптическому волокну. Для каждого отдельного клиентского сигнала необходимо изменить длину волны. Данное преобразование выполняется на DWDM-транспондере. Выходной сигнал с транспондера будет соответствовать конкретному оптическому каналу со своей длиной волны. Затем при помощи мультиплексора сигналы смешиваются и передаются в оптическую линию. В конечном пункте происходит обратная операция — при помощи демультиплексора сигналы выделяются из группового сигнала, меняют длину волны на стандартную (на транспондере), и передаются клиенту. Из-за несовершенства волокна оптический сигнал имеет свойство затухать. Для того, чтобы его усилить на оптической линии используются усилители.

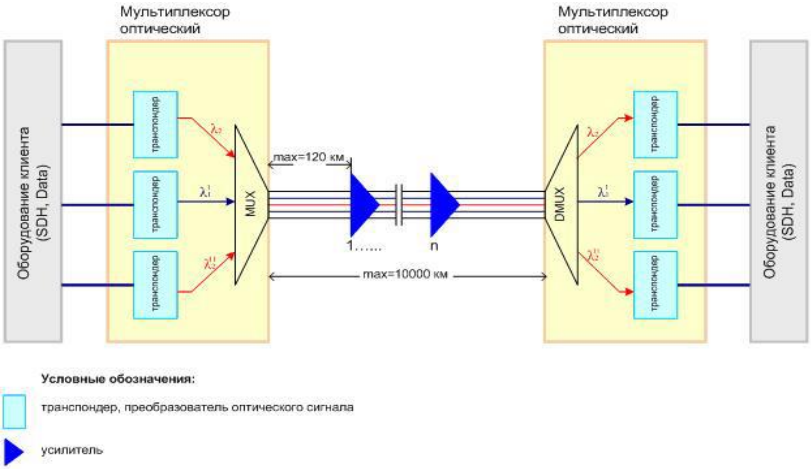


Рис.1. Система DWDM в общем виде

Грубое спектральное мультиплексирование — CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) — является технологией передачи данных, позволяющей одновременную передачу различных протоколов по одной паре оптических волокон. CWDM базируется на использовании оптических каналов, отстоящих друг от друга на расстоянии 20нм. Эти оптические каналы, лежащие в диапазоне от 1310 до 1610нм, специфицированы рекомендацией G-694.2 Международного телекоммуникационного союза (ITU). При расширении диапазона вниз до 1270нм число возможных каналов передачи увеличивается до18. Технология CWDM продлевает время «жизни» существующих волоконно-оптических сетей путем использования сетки частот, не используемых традиционными приемопередатчиками.

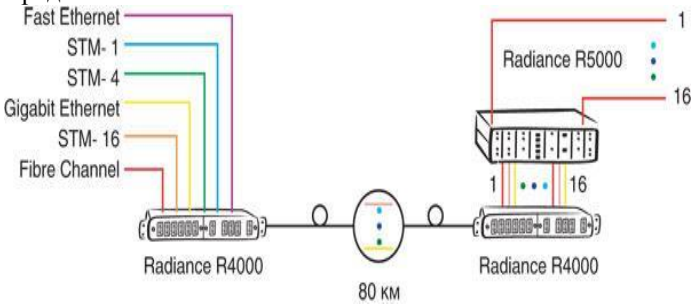


Рис.2. Схема применения технологии CWDM

Технологии похожи в принципах организации каналов связи, ввода-вывода каналов, но имеют абсолютно разную степень технологической прецизионности, что в значительной степени сказывается на параметрах линии и стоимости решений.

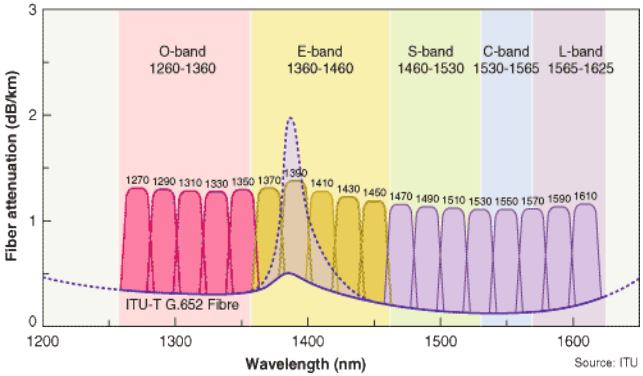


Рис. 3. Распределение каналов CWDM

Кроме широко известных диапазонов *C, S, L* используются ещё два диапазона: *O* (original, основной) 1260–1360нм и *E* (extensive, расширенный) 1360–1460нм. В совокупности все диапазоны охватывают область от 1260 до 1625нм, в которой располагается 18 каналов с шагом 20нм.

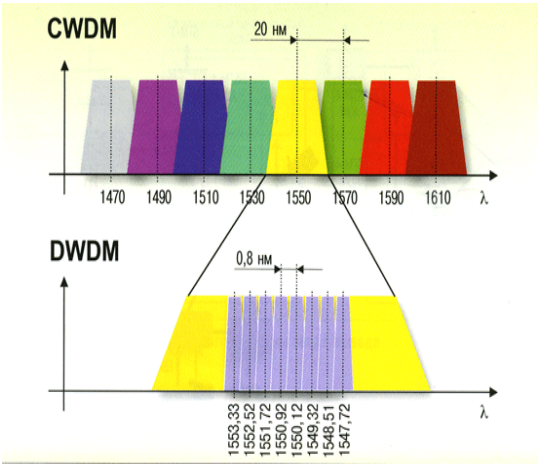


Рис.4. Графики сравнения диапазонов технологий

Как показано на рисунке 4, спектр DWDM будет иметь более узкое расстояние между каналами, сравниваемое с CWDM-аналогом.

Таблица 1- Сравнительные характеристики технологий

Характеристики	CWDM	DWDM
Количество длин волн и каналов	использование 18 длин волн	от 40 длин волн
Сетка частот	разделяется по длинам волн с шагом 20 нм	разделяется по частоте 100 ГГц и 50 ГГц
Характеристики	CWDM	DWDM
Длинны волн и частоты	из диапазона от 1270 до 1610 нм	с сеткой 100 ГГц несущие располагаются в диапазоне от 191.5 (1565.50 нм) ТГц до 196.1 ТГц (1528.77 нм), т.е. диапазон шириной в 4,6 ТГц или 36,73 нм. Итого 46 длин волн для 23 дуплексных каналов. с сеткой 50 ГГц частоты сигналов лежат в диапазоне 192 ТГц (1561.42 нм) - 196 ТГц (1529,55 нм), что составляет 4 ТГц (31,87 нм). Располагается 80 длин волн.
Возможность усиления	усиление многокомпонентного сигнала (отсутствие оптических уселителей работающих в столь широком спектре)	многокомпонентный сигнал может усиливаться стандартными эрбиевыми усилителями (EDFA).
Дальность работы	предназначены для сравнительно небольших расстояний (50-80 км)	передача сигнала на расстояние на много превышающие 100 км, в зависимости от модуляции сигнала могут передавать сигналы на расстояние более 1000 км

Цена DWDM обычно в четыре или пять раз выше, чем у CWDM-аналогов. Более высокая стоимость DWDM объясняется наличием дорогостоящих лазеров. Важным фактором является допущение длины

волны изготовления DWDM-лазера по сравнению с матрицей CWDM. Типичные допуски на длину волны для DWDM-лазеров составляют порядка ± 0,1 нм, в то время как допуски для матрицы CWDM-лазера составляют ± 2-3 нм. Более низкие результаты дают также затраты на DWDM-лазеры относительно CWDM-лазеров. Кроме того, упаковка DWDM-лазерной матрицы для стабилизации температуры с помощью элемента Пельтье дороже, чем неохлаждаемая коаксиальная упаковка CWDM.

В настоящее время CWDM становится очень востребованной в качестве транспортной архитектуры. В отличие от DWDM, системы, основанные на технологии CWDM, развертываются на лазерах с распределенной обратной связью и широкополосных оптических фильтрах. Эти технологии для CWDM обеспечивают ряд преимуществ, таких как низкое рассеивание энергии, меньший размер и небольшая стоимость. Коммерческая выгода CWDM систем обеспечивает ей преимущество перед DWDM системами.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д. С. Колтыгин

Литература:

1. Калита И. Ф., Гарманов С. С. CWDM и DWDM технологии. [Электронный ресурс]. – URL: https://evileg.com/ru/post/38/
2. Гордиенко В. Н. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов // М: Горячая линия-Телеком, 2011. С. 338-340.
3. Сергеев А. В. Обзор технологии DWDM. [Электронный ресурс]. – URL: http://netclo.ru/obzor-tekhnologii-dwdm/
4. Слепов Н. Особенности современной технологии WDM // Электроника: НТБ. 2004. № 6. С. 68-76.
5. Волков П. В двух словах о CWDM и DWDM. [Электронный ресурс]. – URL: http://npo-skeo.ru/technology/uplotnenie-vols/278-v-dvukh-slovakh-o-cwdm-i-dwdm//

Е.А. Казакова
Братский государственный университет, Братск,
katay-95@yandex.ru

СПУТНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ VSAT И БЕЗОПАСНОСТЬ СЕТИ

Спутниковая связь — один из видов космической радиосвязи, основанный на использовании искусственных спутников Земли в качестве ретрансляторов, такая связь осуществляется между земными станциями, которые могут быть стационарными и подвижными.

Спутниковая связь - это развитие радиорелейной связи, путём вынесения ретранслятора на очень большую высоту. Зона его видимости — почти половина Земного шара и необходимость в цепочке ретрансляторов отпадает — в большинстве случаев достаточно и одного. Расположения спутников по орбите Земли представлены на рисунке.

Рис.1. Движение спутников по орбите

Спутник — это устройство для приема и ретрансляции сигнала с земных станций (ЗС) в зоне видимости. Спутниковая транспортировка сигналов начинается и заканчивается на Земле.

Система спутниковой связи (ССС) имеет три составные части:

1) космический сегмент — решает вопросы проектирования спутника, расчета орбиты;
2) сигнальная часть — решает выбор используемого спектра частоты, протоколов транспортировки, схем модуляции и т.д.
3) наземный сегмент — включает размещение антенн, схем мультиплексирования и т.д.

Для построения сетей связи крупные территориально-распределенные компании применяют спутниковые системы VSAT. Термин Very Small Aperture Terminal (VSAT) был введён в 1983 г. для того, чтобы отличить пользовательские станции с антеннами

относительно малых диаметров (до 2,4 м) от больших наземных станций. В начале 90-х гг., технология VSAT была ориентирована в основном на предоставление операторам связи закрепленных одиночных каналов (Single Channel Per Carrier, SCPC) и организацию удаленного доступа к сетям телефонии. С изменением потребностей рынка, акцент сместился с предложения исключительно голосовых услуг к комбинированным телематическим услугам, включая услуги передачи данных. Сейчас наблюдается массовая переориентация технологий VSAT на предоставление доступа к Internet. Производители оборудования VSAT, прежде всего каналообразующего, все в большей мере ориентируются на использование протоколов IP и Frame Relay на транспортном уровне своих систем. Схема соединения с наземными системами связи представлена на рисунке 2.

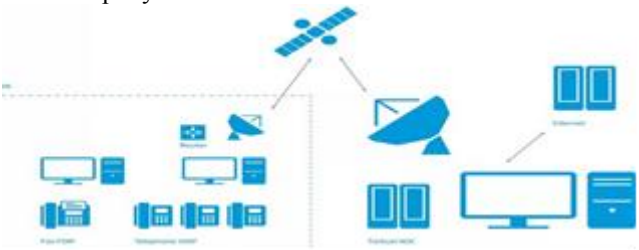


Рис. 2. Схема соединения спутника с наземными системами связями

Согласно схеме, сети VSAT строятся на геостационарных спутников на ретрансляторах. В качестве примера, типичного для России, можно привести спутники «Ямал», принадлежащие компании «Газ-ком», структурному подразделению ОАО «Газпром». Сеть спутниковой связи включает в себя ещё два основных элемента: центральную управляющую станцию (ЦУС) оператора спутниковой связи и абонентские терминалы VSAT. В состав ЦУС входят приемо-передающая аппаратура, антенно-фидерные устройства и комплекс оборудования, осуществляющий функции контроля и управления всей абонентской спутниковой сетью, перераспределение ее ресурсов, выявление неисправностей, тарификацию услуг сети и сопряжение с наземными линиями связи. Спутниковые антенны и компактные терминалы VSAT размещаются непосредственно в удалённых точках, поддерживая широкий спектр современных мультисервисных услуг, включая передачу данных, видео, голоса.

Наземные сети связи подвержены опасностям, как обрыв и повреждение кабеля. Уязвимость наземных систем связи заключается

в сбоях и авариях в сетях электропитания, в том числе отказ сетевого оборудования. С помощью спутниковых каналов можно достаточно быстро сформировать сетевую инфраструктуру, у которой будут самые высокие показатели надёжности. Передача цифровой информации в сетях VSAT характеризуется низким уровнем и надёжной работой.

Для обеспечения безопасности в прямом и обратном спутниковом канале в направлении от ЦУС (центральный узел связи) к терминалу пользователя называется прямым спутниковым каналом (DVB-S, DVB-S2, Frame Relay). По нему происходит передача конфигурационных параметров и управляющих команд оператора, пользовательских данных. Все передаваемые данные проходят многоступенчатую систему преобразований и шифрования. У каждого производителя спутникового оборудования свой подход к реализации такой системы.

Общие принципы таковы:

1) применение фирменных алгоритмов шифрования данных;
2) проверка подлинности терминала при его регистрации в сети оператора;
3) шифрование как всего и отдельно работы сеанса;
4) применение фирменных алгоритмов преобразования исходных данных во внутренние форматы данных, которые потом передаются через спутниковый канал. Тем самым включаются дополнительные защиты информации, доставки служебной информации и коррекции ошибок;
5) ускорение данных, передаваемых по протоколу TCP/IP. В создаваемых виртуальных каналах исходные данные в сеансах TCP группируются, сжимаются и получают приоритеты.

Спутниковые каналы в направлении от терминалов к ЦУС называются обратными спутниковыми каналами. Сети терминалов оператора могут работать сразу с многими обратными каналами. Устройство и методы работы делает их защищенными. В настоящий момент самыми распространенными способами функционирования терминалов в таких каналах являются принципы доступа с временным и частотно-временным разделением каналов (Time/Frequency Division Multiple Access, TDMA/FDMA). Каждый обратный канал работает в своей частотной полосе (или со своей несущей) и с определенным алгоритмом кодирования для выявления и коррекции ошибок, передаваемых данных (Turbo Coding).

Основным способом обеспечения безопасности передачи данных в беспроводном спутниковом канале является применение аппаратно-

программных средств защиты данных. Во-первых, обмен информацией с внешними сетями и Internet контролируется в соответствии с заданной политикой безопасности на пограничных маршрутизаторах и межсетевом экране оператора. Во-вторых, передаваемые данные шифруются с помощью фирменных алгоритмов криптозащиты производителя спутникового оборудования. В-третьих, постоянный сбор статистики по работе сети и серверов позволяет технической службе эффективно отслеживать и корректировать функционирование сети в любое время суток. Структура программно-аппаратного комплекса, на примере Системы Комплексной Автоматизации Транспорта (СКАТ) изображена на рисунке 3.

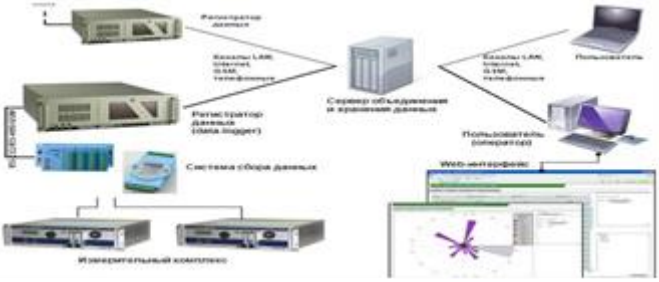


Рис.3. Структура программно-аппаратного комплекса «СКАТ-РД»

Шифрование данных в спутниковом канале осуществляется при участии, как спутниковых терминалов на стороне клиента, так и специализированных высокопроизводительных серверов на ЦУС оператора. На специальном сервере оператора размещается защищенная база данных ключей шифрования и сеансовых ключей всех спутниковых терминалов. Чтобы терминал смог работать в сети оператора, информация в базе ключей оператора должна соответствовать аппаратному ключу, который хранится на интегральной схеме терминала. Это исключает несанкционированное подключение терминалов «чужого» оператора. За генерацию ключей и их распространение отвечает компания-производитель спутникового оборудования. Терминалы изготавливают таким образом, чтобы они были защищены от извлечения ключей шифрования, воздействия любых внешних сигналов, а также от вскрытия оборудования для анализа. На серверах ЦУС для межсерверного сетевого взаимодействия операторы часто используют модифицированные транспортные протоколы. Каждый сервер имеет «горячий» резерв — отдельно стоящий идентичный сервер, который берет на себя всю

работу в случае выхода из строя основного устройства. Кроме того, сетевое взаимодействие оборудования логически разделено на виртуальные сети по технологии VLAN (IEEE 802.1Q), чтобы данные для управления и контроля были изолированы от пользовательских. В результате атаки на сеть оператора со стороны клиентов или из Internet становятся невозможными, а распространение вирусов в сети блокируется.

Защита соединения спутниковых каналов связи с наземными происходит при построении распределенных корпоративных сетей, рисунок 4. Для таких каналов предусматривается достаточно высокий уровень шифрования и защиты данных. Обычно центральный офис компаний имеет высокоскоростной доступ в Internet по наземным линиям связи или выделенную линию до центра коммутации. Задача сопряжения сетей решается путем создания защищенного туннеля VPN между ЦУС спутникового оператора и центральным офисом клиента. Для этого можно использовать любой из протоколов туннелирования VPN: MPLS, IPSec, PPTP, L2F и прочие.

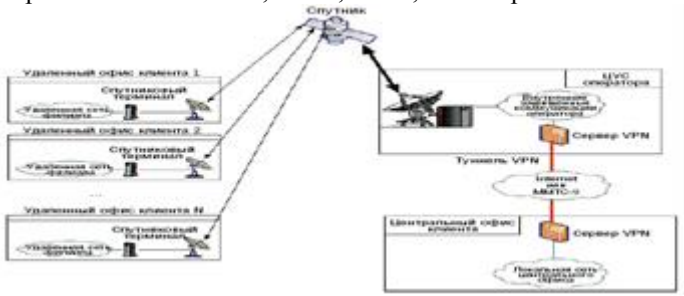


Рис.4. Соединения спутниковых каналов связи с наземными корпоративными сетями

При применении специализированного оборудования спутниковые каналы могут служить и для передачи информации с грифом «конфиденциально», «секретно», «совершенно секретно». Эти устройства подключаются через стандартные порты между компьютером или другим средством обработки информации и терминалом VSAT, обеспечивающую криптографическую защиту информации. Спутник предохраняет передаваемую информацию гораздо надежнее, чем другие технологии связи. Многие компании выбирают спутниковые системы VSAT для резервирования имеющихся каналов как заведомо безопасные с технической точки зрения и максимально защищённые от повреждений и сбоев. Скорость

работы по спутниковому каналу для терминала VSAT составляет от 16 Кбит/с до 10 Мбит/с.

Аппаратно-программных средств защиты спутниковые операторы делают комплекс организационных и административных мер по защите своих узлов связи. Технические специалисты выполняют регламентные работы по полному резервному копированию баз данных и конфигурации всех ключевых серверов. Комплекс мер безопасности пользователи получают защищенные в мире телекоммуникационные решения, высочайшие требованиям к конфиденциальности информации.

Спутниковые системы VSAT гибко настраиваются и адаптируются в соответствии с растущими запросами клиентов, работающих в высокотехнологичных отраслях. Для защиты данных разрабатываются новые способы.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Д.С.Колтыгин

Литература:

1. Спутниковая связь. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/
2. Журнал «Сетевые решения». [Электронный ресурс]. – URL: https://www.osp.ru/lan/2007/09/4374549.
3. https://www.osp.ru/lan/2007/09/4374549Саяркин Л. А., Зайцева А. А., Лапин С. П., Домбровский Я. А. Программно- аппаратные средства защиты автоматизированных систем от несанкционированного доступа // Молодой ученый. — 2017. — №13. — С. 19-22.
4. Журнал «Технологии» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.lastmile.su/files/article_pdf/2/article_2118_318.pdf
5. В.Колюбакин Журнал «Крупный план» [Электронный ресурс]. – URL: http://old.telesputnik.ru/archive/pdf/237/6.pdf

К.Е. Короткова
Братский государственный университет, г. Братск,
feia@brstu.ru

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Основным методом достижения информационной безопасности в компьютерных системах и сетях является криптографическая защита информации.

Криптографическая защита информации представляет собой такое преобразование исходной информации, после которого информация становится недоступной для чтения и изменения лицами, не имеющими на это полномочий.

Рис. 1. Классификация методов криптографического преобразования информации

1. Шифрование — изменение исходной информации с целью от людей, которые не должны владеть этими данными. Шифрование служит задачей соблюдения конфиденциальности передаваемой информации. Важная особенность алгоритма шифрования - использование ключа, который утверждает конкретное преобразования из всей их совокупности для данного алгоритма.

С помощью шифрования обеспечиваются три состояния безопасности информации:

1) Конфиденциальность.

Шифрование используется для скрытия информации от неавторизованных пользователей при передаче или при хранении.

2) Целостность.

Шифрование используется для предотвращения изменения информации при передаче или хранении.

3) Доступность.

Шифрование используется для проверки подлинности источника информации и предотвращения отказа отправителя информации от того факта, что данные были отправлены именно им.

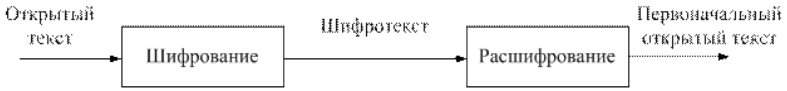


Рис.2. Шифрование и расшифровывание

Для шифрования информации используются алгоритм преобразования и ключ. Для каждого метода шифрования существует свой алгоритм. Для начала процедуры шифрования необходима сама информация и определенный ключ.

Ключ – конкретное значение некоторых параметров алгоритма криптографического преобразования, обеспечивающее выбор преобразования из семейства. Он содержит управляющую информацию, которая определяет выбор преобразования на определенных шагах алгоритма и величины операндов, используемые при реализации алгоритма шифрования.

Одним из самых распространенных способов шифрования в компьютерных системах и сетях являются «Хеш-функции», сущность которых является преобразование входного массива информации произвольной длины в битовую строку определенной длины, с использованием определенного алгоритма.

2. Стеганография – способ изменения информации, при котором неизвестен сам факт существования секретного сообщения. Для повышения уровня защиты от вскрытия данные могут дополнительно шифроваться.

Компьютерная стеганография — направление классической стеганографии, основанное на особенностях компьютерной платформы. Примеры — стеганографическая файловая система StegFS для Linux, скрытие данных в неиспользуемых областях форматов файлов, подмена символов в названиях файлов, текстовая стеганография и т. д.

Цифровая стеганография

Цифровая стеганография — направление стеганографии, основанное на сокрытии или внедрении дополнительной информации в цифровые объекты, вызывая при этом некоторые искажения этих объектов. Но, как правило, данные объекты являются мультимедиа-объектами и внесение искажений, не приводит к заметным изменениям этих объектов.

В настоящее время чаще всего используется такой раздел стеганографии, как цифровые водяные знаки. Цифровые водяные знаки наносятся специальным устройством и помогают защитить данные от копирования и сохранить авторские права.

3. Кодирование информации – это процесс формирования определенного представления информации. В более узком смысле под термином «кодирование» часто понимают переход от одной формы представления информации к другой, более удобной для хранения, передачи или обработки.

Обычно каждый образ при кодировании (иногда говорят — шифровке) представлении отдельным знаком. Знак - это элемент конечного множества отличных друг от друга элементов. Например, знаком может быть двоичный код, используемый для кодирования информации для обработки компьютером.

4. Сжатие данных — алгоритмическое преобразование данных, производимое с целью уменьшения занимаемого ими объёма. Применяется для более рационального использования устройств хранения и передачи данных.

Сжатие основано на устранении избыточности, содержащейся в исходных данных. Простейшим примером избыточности является повторение в тексте фрагментов. Подобная избыточность обычно устраняется заменой повторяющейся последовательности ссылкой на уже закодированный фрагмент с указанием его длины. Другой вид избыточности связан с тем, что некоторые значения в сжимаемых данных встречаются чаще других. Сокращение объёма данных достигается за счёт замены часто встречающихся данных короткими кодовыми словами, а редких — длинными (энтропийное кодирование). Сжатие данных, не обладающих свойством избыточности (например, случайный сигнал или белый шум, зашифрованные сообщения), принципиально невозможно без потерь.

Самым эффективным способом сжатия информации является код Хаффмана, сущность которого заключается в том, что подсчитывается частоты встречания каждого символа. По полученным частотам строится бинарное дерево по восходящему признаку. Затем строится бинарный код: обходим дерево с корня до необходимого символа, при проходе влево в код записывается 1, при проходе вправо – 0.

В целом как показывает практика, криптографические методы защиты действительно обеспечивают безопасность на достаточно высоком уровне. Несомненно, что данное направление будет быстро развиваться с появлением новых коммуникационных аппаратно-программных средств. Большинство современных компаний стараются разработать универсальные криптографические интерфейсы и избавить разработчика программного обеспечения от самостоятельных реализаций сложных алгоритмов.

На основании всего вышесказанного можно смело говорить о том, что тенденции развития рынка средств криптографической защиты информации совпадают с тенденциями, наблюдаемыми в прочих сегментах рынка прикладного программного обеспечения.

Среди основных тенденций следует особо выделить унификацию параметров криптографических алгоритмов, форматов криптографических сообщений и протоколов, используемых в системах криптозащиты информации.

На сегодняшний день криптография применяется практически во всех отраслях человеческой деятельности, что является немаловажной задачей в более детальном ее изучении и дальнейшем развитии.

Научный руководитель: к.т.н., зав. кафедроу УТС И.В.Игнатьев

Литература:

1. Способы защиты оптоволоконного кабеля [Электронный ресурс]. – URL: https://kabelnieseti.ru/sposoby-zashhity-optovolokonnogo-kabe/

2. Криптография. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Криптография

3. Хоффман Л.Дж. Современные методы защиты информации / Пер. с англ. - М: Сов. радио, 1980. – 258с.

4. Гатченко Н.А., Исаев А.С., Яковлев А.Д. «Криптографическая защита информации» – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 142 с.

Е.Ю. Павлюк
Братский государственный университет, г. Братск,
kds_kds@mail.ru

ПРИЕМУЩЕСТВА ПЕРЕХОДА ОТ PDH К SDH ТЕХНОЛОГИИ

В статье рассмотрены основные функциональные модули, входящие в состав сети SDH. Определены основные функциональные задачи, решаемые сетью SDH. Проанализированы преимущества перехода от PDH к SDH технологиям.

Развитие технологий скоростных телекоммуникаций на основе плезиохронных цифровых иерархий PDH повлекло за собой разработку и внедрение наиболее значительных и инновационных цифровых технологий.

Синхронная цифровая технология SDH является одной из наиболее значимых технологий в области телекоммуникаций. Часто технологию SDH рассматривают как единую технологию совместно с синхронной оптической сетью SONET.

Актуальность использования технологии SDH связана с использованием в сфере коммуникаций волоконно-оптических кабелей.

SDH - это стандарт для высокоскоростных высокопроизводительных оптических сетей связи более известный, как синхронная цифровая иерархия, это технология глобальной сети, пришедшая на смену импульсно-кодовой модуляции PCM (ИКМ) и плезиохронной цифровой иерархии PDH.

Стандарт SDH определяет уровни скорости прохождения сигнала синхронного транспортного модуля (Synchronous Transport Module - STM). Основная скорость передачи сигнала составляет 155,520 Мбит/с.

Стоит отметить, что сети SDH обеспечивают преемственность и поддержку стандартов PDH. Поддержка стандартами SONET/SDH американской и европейской иерархии PDH привела к тому, что терминальные мультиплексоры и мультиплексоры ввода/вывода синхронных сетей были рассчитаны на поддержку только тех каналов доступа, скорость передачи которых соответствует объединенному стандартному ряду двух иерархий PDH.

Сеть SDH представляет собой систему взаимосвязанных функциональных модулей ограниченного набора: мультиплексоров, коммутаторов, концентраторов, регенераторов и терминального оборудования.

Набор функциональных модулей определяется исходя из задач, решаемых сетью.

В таблице 1 представлены основные задачи, их характеристика и то, какой функциональный модуль решает данную задачу

Рассмотрим подробнее каждый функциональный модуль.

Мультиплексоры. Являются основным функциональным модулем сети SDH. Мультиплексорами называют модули, служащие для сборки высокоскоростного потока из низкоскоростных, а также для разборки высокоскоростного потока с целью выделения низкоскоростных потоков. Мультиплексоры сети SDH выполняют не только функции мультиплексора, но и функции устройств терминального доступа (позволяют подключать низкоскоростные каналы PDH иерархии непосредственно к своим входным портам).

Таблица 1 – Функциональные задачи, решаемые сетью SDH

Задача	**Характеристика**	**Функциональный модуль, участвующий в решении задачи**
Задача мультиплексирования	Сбор входных потоков через каналы доступа в агрегатный блок, пригодный для транспортировки в сети SDH	Терминальный мультиплексор
Задача транспортирования	Транспортировка агрегатных блоков по сети с возможностью ввода/вывода входных/выходных потоков	Мультиплексор ввода/вывода
Задача коммутации (кросс-коммутации)	Перегрузка виртуальных контейнеров в соответствии со схемой маршрутизации из одного сегмента сети в другой, осуществляемая в выделенных узлах сети	Цифровые коммутаторы/ кросс-коммутаторы
Задача концентрации	Объединение нескольких однотипных потоков в распределительный узел	Концентраторы
Задача регенерации	Восстановление формы и амплитуды сигнала, передаваемого на большие расстояния, для компенсации его затухания	Повторители
Задача сопряжения	Сопряжение сети пользователя с сетью SDH	Оконечное оборудование

Выделяют два основных типа SDH мультиплексоров: терминальный мультиплексор (является мультиплексором и оконечным устройством SDH сети с каналом доступа, соответствующими трибами PDH и SDH иерархий) и мультиплексор ввода/вывода (может иметь на входе тот же набор трибов, что и терминальный мультиплексор; позволяет вводить/выводить соответствующие им каналы).

На рисунке 1 представлено схематическое обозначение терминального мультиплексора.

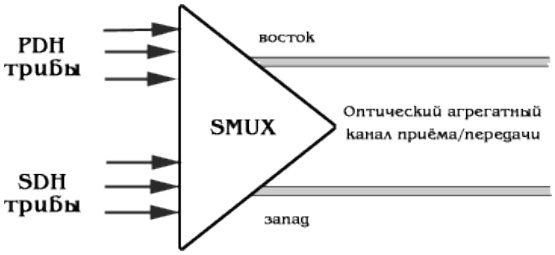


Рис.1. Синхронный мультиплексор: терминальный мультиплексор

Концентраторы. Концентратор - вырожденный случай мультиплексора. Он объединяет однотипные потоки нескольких удаленных узлов сети в одном распределительном узле, связанном с главной транспортной магистралью. Это позволяет уменьшить общее число подключенных непосредственно к ней каналов. Концентратор дает возможность удаленным узлам обмениваться информацией между собой, не загружая основной трафик.

Регенераторы. Представляют собой вырожденный случай мультиплексора, имеющего один входной канал (оптический триб STM-N) и один или два агрегатных входа. Регенераторы используются для увеличения допустимого расстояния между узлами сети SDH путем регенерации сигналов полезной нагрузки. На рисунке 2 схематически представлен мультиплексор в режиме регенератора.

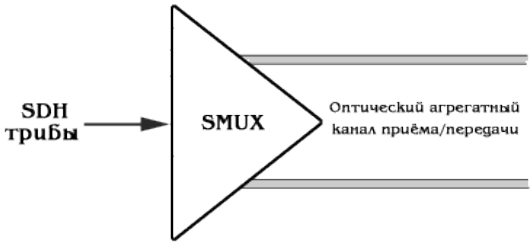


Рис.2. Мультиплексор в режиме регенератора

Коммутаторы. Позволяют установить связь, путем организации временной связи (кросс-коммутации) между ними. Выделяют следующие функции коммутаторов:

1) маршрутизация виртуальных контейнеров;
2) консолидация или объединение виртуальных контейнеров;
3) трансляция потока от точки к нескольким точкам, или к мультиточке;

4) сортировка или перегруппировка виртуальных контейнеров;
5) доступ к виртуальному контейнеру;
6) ввод/вывод виртуальных контейнеров.

На рисунке 3, рисунке 4 и рисунке 5 схематически представлены виды коммутаторов.

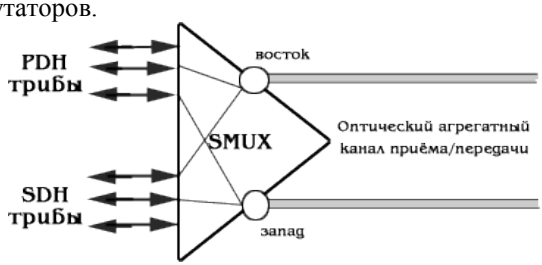


Рис.3. Мультиплексор ввода/вывода в режиме внутреннего коммутатора

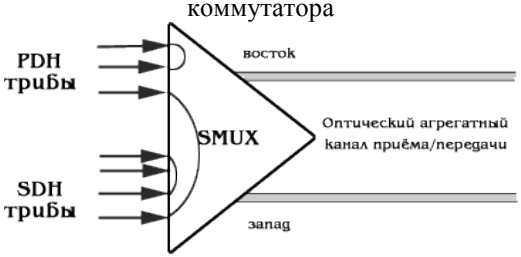


Рис.4. Мультиплексор ввода/вывода в режиме локального коммутатора

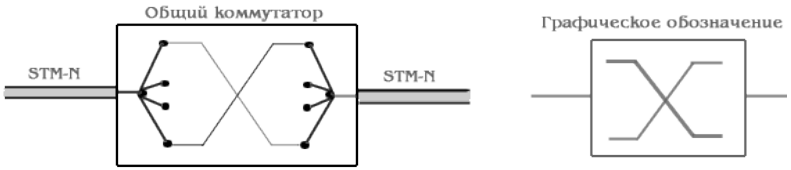


Рис.5. Общий или проходной коммутатор высокоскоростных каналов

Таким образом, сети SDH заняли прочное положение в телекоммуникационном мире. Сегодня они составляют фундамент практически всех крупных сетей - региональных, национальных и международных. Это положение еще более укрепилось в результате появления технологии спектрального мультиплексирования DWDM, поскольку сети SDH могут легко интегрироваться с этим новым типом оптических магистралей с поддержкой очень высоких скоростей в сотни гигабит в секунду.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин

Литература:

1. Технология синхронной цифровой иерархии, статья [Электронный ресурс]. – URL: https://www.osp.ru/lan/2002/04/135999/, дата обращения: 23.10.2017.
2. Н.Н. Слепов, Синхронные цифровые сети SDH, Издательство: Эко-Трендз, 1997 - 150 с.
3. Лебедев Сергей SDH синхронная цифровая иерархия – идеальная транспортная сеть? // Компоненты и Технологии. 2005. №52. [Электронный ресурс] – URL: http://cyberleninka.ru/article/n/sdh-sinhronnaya-tsifrovaya-ierarhiya-idealnaya-transportnaya-set (дата обращения: 11.10.2017).
4. И.Г.Бакланов "Технологии измерений первичной сети. Часть 1. Системы E1,PDH, SDH."; ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000
5. В.Г.Фокин Оптические системы передачи. Учебное пособие. Часть 1. – Новосибирск, СибГУТИ, 2002

А.Е. Петровская
Братский государственный университет, г. Братск
kds@brstu.ru

СИСТЕМЫ КОДИРОВАНИЯ В КАБЕЛЬНОМ ТВ

В настоящее время широко распространено кабельное телевидение. В связи с этим появляется проблема несанкционированного доступа к информации пользователя и поэтому актуальной является проблема защиты и кодирования информации.

Оборудование системы кодирования выполняет две основные задачи:

1) сигнал кодируется, один или несколько элементов сигнала изображения (иногда и звука) меняются так, что изображение становится "нечитаемым". Кодер изменяет параметры сигнала по некоторому закону. Для того, чтобы сигнал восстановился декодер абонента должен одновременно с кодером выполнить обратное преобразование.

2) в сеть вводится информация, которая определяет статусы всех декодеров системы.

Технологии кодирования. Не обязательно кодировать все каналы сети, оператору достаточно запретить доступ к части каналов.

Безадресные системы кодирования справляются с этой задачей, они построенные на основе режекторных фильтров. В это время, такую систему нельзя считать в полной мере системой кодирования, так как сигнал не кодируется вовсе.

Для ограничения доступа используются следующие технологии:

1) В абонентский отвод помещается режекторный фильтр, вырезающий из спектра сигнала полосу, которая занимает платный канал. Эти фильтры получили название 'NegativeTraps' – после внесения абонентом платы за просмотр, фильтр удаляется.

Главным достоинством таких систем является: оператору не нужно использовать никакого дополнительного оборудования, а фильтры стоят очень дешево. Также существует ряд недостатков: фильтр должен располагаться вне жилища. Для того, чтобы отключить или подключить абонента, необходим специалист. Надежность этой системы к взлому минимальна – достаточно удалить фильтр.

2) Вторая технология более усложнена. На главную станцию фиксируют генератор помехи, частота помехи превышает несущую частоту канала. Устройство принимающее сигнал, 'думает', что ему подали очень мощный сигнал и уменьшает усиление до предела. Соответственно канал не принимается.

Чтобы получить доступ к каналу применяют узкополосный режекторный фильтр, удаляющий помеху. Эти фильтры носят название 'PositiveTraps'– после оплаты абонентом просмотра каналов, фильтр устанавливается.

Построение систем.

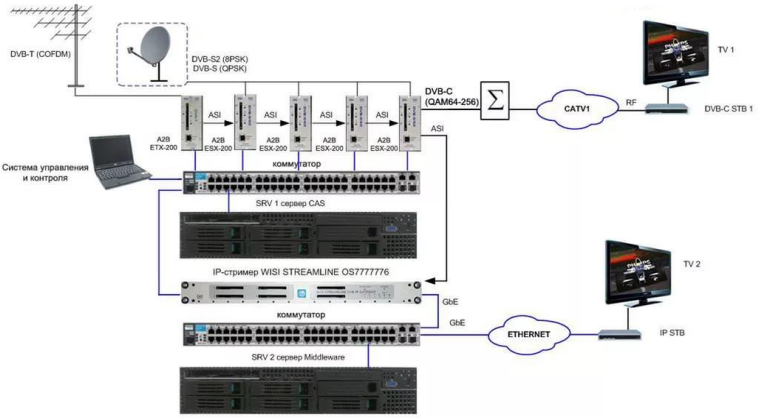


Рис.1. Структурная схема головной части типичной системы кодирования

В настоящее время очень большую популярность получили системы ограничения доступа, использующие устройства ответвления и сплиттеры. В этих устройствах перед каждым абонентским выходом используется электронный ключ, имеющий свой идентификационный номер.

На станции, где установлен компьютер, осуществляется регистрация платежей абонентов. Данные регистрации платежей формируют данные для активизации ключей. Этим данные выделена отдельная несущая частота. В ответвителях установлен приемник, который настроен на канал передачи данных активизации. Информация с приемника доводится в чип, распознающий команды на активизацию электронных ключей и подключает (или отключает) выбранных клиентов. Через определенный период должна подаваться команда наактивация, это сделано для того, чтобы ключ находился в постоянном активном состоянии. На каждый отвод ответвления второго уровня установлены два электронных ключа, первый подключает абонентский отвод к входу, а второй – через отрицательный фильтр. Доступ абонента осуществляется по принципу 'отключен только базовый пакет+ дополнительный пакет'

При такой системе, сигнал все же не кодируется. Здесь достаточно врезать в субмагистральную линию рядом с адресуемым ответвителем обычный – и мы получим неограниченный доступ к каналам.

Системы ACS-500.

Рис.2. Внешний вид системы ASC-500

Система ACS-500 получила свою популярность из-за ряда достоинств адресной системы кодирования и дешевых безадресных систем.

ACS-500 состоит из двух основных компонентов:

Студийное устройство ACS-501 – канальный кодер, устанавливается по одному на каждый кодируемый канал. ACS-501

включается между источником и модулятором станции. Он скремблирует информацию, меняя состав строчных синхроимпульсов, заводит в последние строки каждого поля управляющие сигналы для абонентских декодеров. Информацию о статусе абонента можно вводит в ACS-501 с 'бухгалтерского' компьютера или же вручную. Данные о статусах при отключении питания хранятся не менее пяти суток.

Декодер ACS-502.

Рис.3. Внешний вид декодеров

В данном декодере используется заказной чип, в который 'зашивается' индивидуальный адрес. Кодер заносит в сигнал, сигнал управления на частоте 3 МГц. Далее информация отправляется на модуляторы кинескопа телевизора с амплитудой в десятки вольт, что позволяет ACS-502 улавливать управляющий сигнал на антенный зонд. Здесь нет необходимости подключаться к внутренним цепям телевизора. Декодер ACS-502 включается между абонентским отводом кабеля и гнездом телевизора.

Систему декодера можно расширить. Для этого на станции устанавливают компьютер и коммутатор ACS-503, что дает возможность управлять кодерами ACS-501 с одного ПК. Эта возможность упрощает процедуру ввода данных в кодеры.

Имея все описанные достоинства и возможности, системы кодирования используются лишь единицами. Такие системы в основном применяют в сетях, рассчитанных на абонентов с более высокой платежеспособностью.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин

Литература:

1. Оборудование спутникового и кабельного ТВ. [Электронный ресурс]. – URL: http://intercom.biz.ua/articles.
2. Журнал «Новости электроники». [Электронный ресурс]. – URL: http://cxem.net/ntv/ntv15.php/.

3. В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов; «Цифровые и аналоговые системы передачи»; 2-ое изд.-М.: Горячая линия – Телеком,2005.-232 с.

Д.А. Пляскин
Братский государственный университет, Братск
megafon068@gmail.com

СОТОВЫЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Для того чтобы организовать многопрограммное телевизионное вещание целесообразно сменить обычный наземный способ передачи ТВ сигналов, в том числе и цифровых, микроволновой распределительной ТВ системой с низким уровнем излучения электромагнитных волн. На действие используются разные варианты микроволновых распределительных ТВ систем, которые называются: MMDS-Multichannel Microwave DistributionSystem –многоканальная микроволновая система распределения; LMDS - LocalMultipointDistributionSystem-многоточечная система распределения ТВ программ. Чаще всего MMDSиLMDSиспользуется в малонаселенных сельских районах, где прокладка кабеля экономически не выгодно, хотя некоторые компании могут также предложить услуги удалённым доступом в городских районах. Схожие системы называются сотовыми системами телевещания. Необходимо отметить, что различие в названиях этих систем весьма условна, потому как рекомендации для них создавали в разных странах.

Сотовые системы телевидения включает в себя следующие достоинства:

1) высокое качество сигналов благодаря размеру сот достигает в пределах от 1 до 6км;

2) возможность пользователям большого выбора числа ТВ программ; -высокая надёжность сети;

3) оснащение безвредных для населения уровней электромагнитных излучений радиопередатчиков;

4) низкая цена абонентской установки благодаря использованию комнатной антенны малого размера;

5) высокое качество сигналов из-за низкого уровня помех.

6) за счёт оцифровки сигналов стандартов NTSC, PAL, SECAM система независима;

7) стоимость развертывания сети сотового телевидения в мегаполисах очень дешёвая по сравнению с установкой и

эксплуатацией гибридных оптико-коаксиальных систем кабельного телевидения.

MMDS. Специальный случай сотовых систем телевидения является система MMDS с выделенной полосой частот 2500…2700 МГц если использовать амплитудную модуляцию. В передающую систему входит один или несколько радиопередатчиков, сумматоры, линии связи среди радиопередатчиков и передающей антенной, одна или несколько передающих антенн (Рис.1). В одноканальном варианте для передачи nТВ программ используют n передающих устройств, включающих модулятор и радиопередатчик, а мощность суммируют для разных передатчиков тем самым осуществляется передача в антенне, рисунок 1.

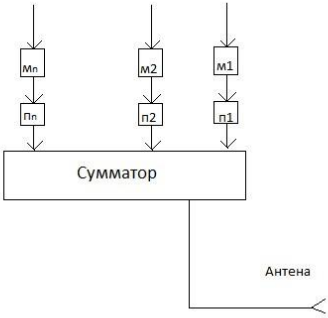


Рис.1. Схема системы MMDS при использовании одноканальных передатчиков: М- модулятор; Передатчик; А-антенна

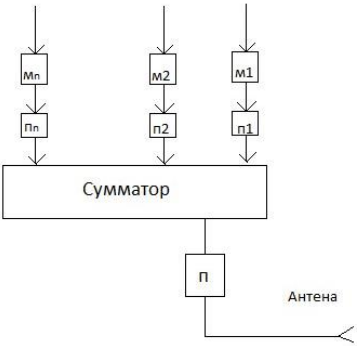


Рис.2. Схема системы MMDS при использование многоканальных радиопередатчиков: М- модулятор; П-передатчик; А-антенна

В проектировании и установки систем MMDSиспользуют два варианта построения структурных схем: одноканальный и многоканальными. .В многоканальном варианте передаваемые n ТВ сигналов различных программ сначала поступают на свои модуляторы, далее из них формируется групповой сигнал, который модулирует широкополосный радиопередатчик, работающий на общую антенну рисунок 2. Многоканальные передатчики целесообразно использовать в небольших городах и посёлках, где радиус покрытия не большее 6 км. По сравнению с передатчиками традиционного наземного телевидения мощность передатчиков MMDS значительно ниже. Её типовое значение в области частот 2,5 ГГц не более 100 Вт. Возможен как отдельный прием сигнала в пределах прямой видимости с помощью малогабаритных приемных антенн, совмещенных с конвертором, который переносит принимаемый групповой сигнал в область более низких частот, так и через антенные устройства SMATV (Satellite Master Antenna TV-ТВ система коллективного пользования), обеспечивающие ТВ сигналами жилые массивы. В случае невозможности обслуживания необходимой территории с одной точки, в теневых зонах устанавливаются автономные ретрансляторы. В Москве на основе системы MMDS организовано распространение программ телевидения, принимаемых с разных спутников по 19 каналом спутникового вещания. Передатчик и две антенны, установленные на Останкинской башне, позволяют охватить вещанием всю Москву и ближайшее Подмосковье. Аналогичные системы вещания на основе MMDS построены и в ряде других городов и областей. Госсвязьнадзором России уже выдано более 30 разрешений на развёртывание MMDS, в семи городах MMDS уже находятся в эксплуатации.

LMDS. Непосредственно к сотовым системам телевидения относится очень перспективная система LMDS, работающая в полосе частот более 23 ГГЦ, т.е. на почти миллиметровых волнах, и использующая помехоустойчивый вид модуляции QPSK, применяемых в спутниковом вещании. Система сотового телевидения LMDS работает по следующему принципу: в пределах зоны охвата устанавливается сеть радиопередатчиков сеть радиопередатчиков (базовые станции –БС) с радиусом действия около 5…6 км. Приемное устройство использует плоскую небольшую по размерам антенну, которая может устанавливаться как в помещении, так и вне его. В системе LMDS телезритель получает сигналы сразу с нескольких спутников. Специальные устройства, установленные на БС, улавливают сигналы различных программ с разных ИСЗ и

ретранслируют их абонентам. Такая система обеспечивает возможность абонентам принимать в среднем до 100 ТВ программ, причём отпадает необходимость иметь дешифратор (как в случае с обычной спутниковой системой) – к телезрителям ТВ сигналы с различных спутников поступают уже в расшифрованном виде. Система LMDS удобна ещё и тем, что может работать в интерактивном режиме и включать в себя целый набор телекоммуникационных услуг.

MVDS. Сотовые системы телевещания MVDS работают в полосе частот 40,5…42,5 ГГц и используют радиопередатчики мощность которых составляет 1 Вт. В данном случае один радиопередатчик с ненаправленной антенной или группа передатчиков с антеннами секторной направленности, имеющими большой коэффициент усиления, составляют БС. Радиопередатчик БС передаёт в эфир сигнал с несколькими несущими в диапазоне частот миллиметровых волн. Излучаемый сигнал имеет ширину спектра 1…2 ГГц содержит информацию большого числа региональных программ, а также принимаемых со связных ИСЗ. Многоканальный сигнал может поступать на вход радиопередатчика уже скомпонованным на специальной региональной станции, либо непосредственно формироваться на БС с помощью мультиплексоров. С помощью систем MVDS в полосе частот 2 ГГц можно организовать от 96 до 128 аналоговых ТВ каналов с представлением интерактивных услуг (или несколько раз больше цифровых), причём каждый из них будет занимать полосу частот 29,5 до 39 МГц. Всё же максимального значения число частотных каналов достигает лишь при работе с одиночной БС. Присутствие в сети множества сот применяется БС с четырёхсекторными антеннами. Частотное планирование сети осуществляется благодаря использованию различных радиочастот или поляризации излучаемого сигнала в каждом секторе. Устойчивость абонентской антенны в такой системе позволяет использовать сигналы с различной поляризацией. В результате выполнения указанных условий, исключающих влияние соседних БС друг на друга, возможное число транслируемых программ уменьшается в 4 раза. Современные системы такого типа обеспечивают передачу радиосигналов на экологически безопасных уровнях мощности 100…300 мВт на один канал. Следует отметить, что подобные системы хорошо работают именно в городах, где СВЧ-сигнал доходит до абонентов, не находящихся в зоне прямой видимости, после многократного отражения от стен домов. Для улучшения приёма в особо затененных местах применят недорогие устройства- пассивные

ретрансляторы. Абонентское оборудование сотовых систем телевидения представляют собой традиционный спутниковый тюнер, работающий в диапазоне частот 950…2050 МГц. Антенна выполняется вместе с СВЧ-приёмником, осуществляющим первое преобразование частоты с целью её понижения, в едином блоке, представляющим собой лёгкое компактное устройство диаметром около 150 или 250 мм. Рассмотренные технологии базируются на схожих технических идеях и имеют близкие архитектурные решения, но всё же эти технологии используются в разных частотных диапазонах. MMDS- появились из аналогового телевещания, на этой системе создавалось новое поколение высокоскоростного интернета. Система LMDS- работает на высоком диапазоне частот чем MMDS из-за этого диапазон не превышает 5 км. Самой перспективной системой является MVDS она позволяет предоставлять абонентам беспроводной радиодоступ и мультимедийные услуги. Также система имеет не высокий уровень помех, и передатчики потребляют малую мощность

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин

Литература:

1. СистемаMMDS [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Multichannel_Multipoint_Distribution_Service

2. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания / М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В.Кокорев, Р.А. Краснощеков. - М.: Радио и связь, 2008. -144 с.

3. Системы интерактивного кабельного телевидения диапазона частот до 600МГЦ / О.И. Шелухина. М.: Государственная академия сферы быта и услуг, 2005. -104 с.

4. Зубарев Ю.Б., Глориозов Г.Л. Передача изображений: Учеб. Для вузов. 2-е изд.- М.: Радио и связь. 2005.-336

Г.А. Рау
Братский государственный университет», г. Братск
feia@brstu.ru

СВЕТОДИОДНЫЕ ЛАМПЫ КАК БЕСПРОВОДНОЙ ИНТЕРНЕТ

В современном мире широкую популярность набирают все возможные гаджеты с использованием интернет управления. В свою очередь это сильно влияет на комфортное пользование общедоступным интернетом. Обычная стандартная формы беспроводной коммуникации, как Wi-Fi, в которой задействованы традиционные частоты, не в силах справляться с большим количеством пользователей одновременно. Поэтому буквально несколько лет назад был разработан дополнительный источник связи, так называемый Li-Fi.

Li-Fi (Light Fidelity) — это двунаправленная, высокоскоростная беспроводная коммуникационная технология. В идеи этой технологии лежит использование светодиодных ламп, сигнал передается при помощи мерцания светодиодов, невозможных для восприятия человека.

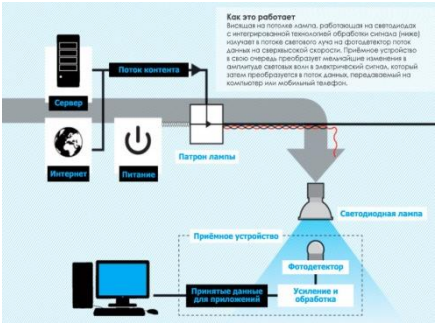


Рис.1. Схема работы Li-Fi процесса

Первым представил такой проект профессор Эдинбургского университета Харальд Хаас на конференции TED в 2011 году. Эта технология была заявлена как быстрая беспроводная система коммуникации. Но этот проект стал лишь прототипом. В то время с Li-Fi технологией экспериментировали и инженеры компании Oledcomm. Команда университета Фудань первыми на практике представила экспериментальную Li-Fi сеть, в которой четыре

компьютера в одной комнате были подключены к одной и той же лампочке. При этом связь обеспечивалась без препятствий.

Разработчики предлагают для пользования ряд устройств, первым был Li-1st с пропускной способностью 11,5 Мбит/с в диапазоне 3-х метров при одновременном и достаточном освещении на рабочем столе, а самым современным стал LiFi-X поддерживающий связь на скорости до 40 Мбит/с, полностью мобильный и очень прост в использовании.

Рис.2. Устройство LiFi-X

Такая технология имеет прототип Wi-Fi, но передача данных происходит при помощи видимого света, что в 10 раз быстрее своего прародителя. Из-за большого числа мерцаний, примерно от 10 до 40 кГц, человеческий глаз совсем это не улавливает и считает, что лампа светит как обычно. Связь по видимому свету работает путём переключения подачи напряжения на светодиоды на очень высокой частоте. Приемник на компьютере или мобильном устройстве, на который попадает видимый свет, декодирует это мерцание в данные и светодиодные лампы достаточно быстро передают сигналы. В университете Эдинбурга с помощью Li-Fi ученые обеспечили скорости передачи данных уже до 3 Гбит/с в монохромном режиме. А свою очередь Wi-Fi обеспечивает скорость передачи до 600 Мбит/с.

Одним из больших недостатков является то, что устройство должно находиться в пределах видимости лампочки, т.к. видимый свет в отличие от радиоволны не может проходить через стены. Поэтому для обеспечения непрерывного соединения необходимо разместить лампы по всему помещению. Если этого не сделать, то сигнал оборвётся. Так же к недостаткам можно отнести то, что при сильно ярком солнечном свете, возможны перебои сигнала. К преимуществам передачи данных через Li-Fi можно отнести ряд факторов: отсутствие необходимости в использовании лицензии; дешевизна и простота реализации; видимый свет не мешает различным электромагнитными частотами, поэтому эту технологию можно применять: на борту самолёта или в медицинских учреждениях.

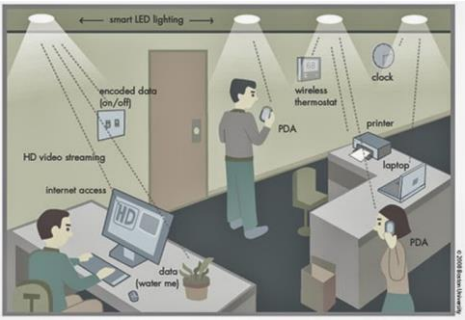


Рис.3. Принцип действия

Li-Fi интернет ещё не получил широкого распространения среди населения, но благодаря своим преимущества в скором времени однозначно займет достойное место среди человечества, конечно заменить интернет Wi-Fi, эта технология не сможет, зато разбавит заполняемость, весьма продуктивно

Научный руководитель: старший преподаватель А.Д. Ульянов

Литература:

1. Технология Li-Fi - ультра скоростной беспроводной интернет через свет от лампочки [Электронный ресурс]. – URL: https://cameralabs.org/4330-tekhnologiya-li-fi-ultra-skorostnoj-besprovodnoj-internet-cherez-svet-ot-lampochki.

2. Li-Fi – [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Li-Fi.

3. Li-Fi технология (сверхбыстрый Интернет на светодиодах): обзор, описание, устройство и перспективы [Электронный ресурс]. – URL: http://fb.ru/article/234892/li-fi-tehnologiya-sverhbyistryiy-internet-na-svetodiodah-obzor-opisanie-ustroystvo-i-perspektivyi

4. Что такое Li-Fi и сможет ли он заменить Wi-Fi? [Электронный ресурс]. – URL: https://pikabu.ru/story/chto_takoe_lifi_i_smozhet_li_on_zamenit_wifi_4271500.

5. Алексеев Д. А., Ермолаева В. В. Li-Fi — прорыв в науке или бесполезная игрушка? Преимущества и недостатки Li-Fi перед Wi-Fi // Молодой ученый. — 2015. — №11. — С. 161-164. [Электронный ресурс] — URL https://moluch.ru/archive/91/19744/ (дата обращения: 22.04.2018).

Н.В. Сазикова
Братский государственный университет, Братск
kds_kds@mail.ru

МЕТОДЫ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА

Множественный доступ (multipleaccess) – это организация совместного использования ограниченного участка спектра многими пользователями. Выделяют пять вариантов множественного доступа:

1) с частотным разделением каналов связи;
2) с временным разделением каналов связи;
3) с кодовым разделением каналов связи;
4) с пространственным разделением каналов связи;
5) с поляризационным разделением каналов связи.

Мы рассмотрим первых три, так как четвертый метод фактически применяется в реализации принципа повторного использования частот, в том числе при делении ячейки на сектора с использованием направленных антенн, но обычно этот прием не преподносят, как один из методов множественного доступа, а случаи применения на практике пятого метода нам не известны.

1. Множественный доступ с частотным разделением (FrequencyDivisionMultipleAccess – FDMA)- это технология доступа к каналу, найденная в протоколах с множественным доступом в качестве протокола каналообразования**.**

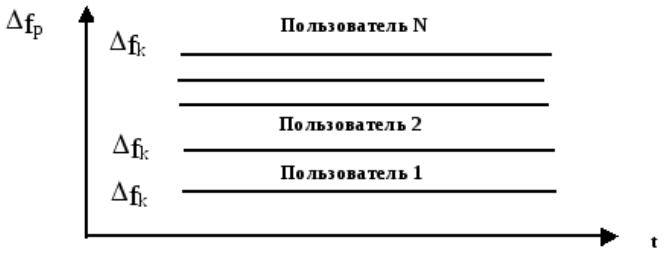


Рис.1. Множественный доступ с частотным разделением в координатах время-частота

Метод FDMA является самым простым методом из трех методов множественного доступа. В этом методе каждому пользователю на время сеанса связи выделяется своя полоса частот Δf (частотный канал), которой он пользуется единолично. FDMA отличается от дуплексной передачи по частоте (FDD). FDMA позволяет нескольким

пользователям одновременно обращаться к системе передачи, FDD описывает способ совместного использования радиоканала между нисходящей и восходящей линиями связи. FDMA также отличается от мультиплексирования с частотным разделением (FDM). FDM относится к способу физического уровня, который смешивает и передает каналы с низкой пропускной способностью через канал с высокой пропускной способностью. FDMA, напротив, является технологией доступа к каналу в канале передачи данных.

Достоинствами FDMA являются:

1) совместное использование частотного канала или спутникового транспондера, при этом каждый из пользователей передает по одной частоте;

2) совместим как с аналоговыми, так и с цифровыми сигналами ($\Delta f = 10\ldots30$ кГц) ;

3) требование высокоэффективных фильтров в радиооборудовании, в отличие от CDMA и TDMA;

4) отсутствие проблем с синхронизацией, которые существуют в TDMA;

5) в результате частотной фильтрации не подвержена проблеме ближнего расстояния, как CDMA;

6) все пользователи передают и принимают на разных частотах, потому что каждый пользователь получает отдельный временной интервал.

Основное слабое место FDMA – недостаточно эффективное использование полосы частот. В качестве недостатка так же можно выделить перекрестные помехи, которые могут вызывать помехи между частотами и прерывать передачу.

2. Множественный доступ с временным разделением (TimeDivisionMultipleAccess – TDMA) - это метод доступа к каналу (CAM), используемый для облегчения совместного использования каналов без помех.

TDMA позволяет нескольким станциям совместно использовать один и тот же канал передачи, деля сигналы на разные временные интервалы. Пользователи передают с быстрой последовательностью, и каждый использует свой собственный временной интервал. Таким образом, несколько станций (например, мобильные телефоны) могут использовать один и тот же частотный канал, но использовать часть своей емкости.

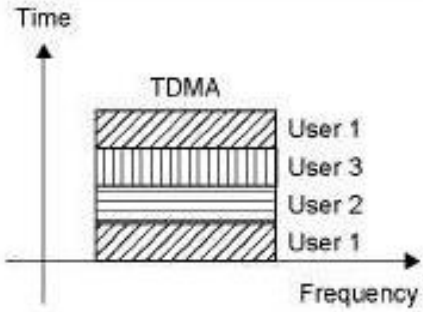


Рис.2. Множественный доступ с временным разделением в координатах время-частота

Примеры TDMA включают IS-136, персональную цифровую сотовую (PDC), интегрированную цифровую расширенную сеть (iDEN) и глобальную систему мобильной связи (GSM) второго поколения (2G).

TDMA позволяет радиокомпоненту мобильной станции прослушивать и транслировать только в назначенный временной интервал. В течение оставшегося периода времени мобильная станция может применять сетевые измерения, обнаруживая окружающие передатчики на разных частотах. Эта функция позволяет межчастотную передачу обслуживания, которая отличается от множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), где частотная передача обслуживания затруднительна. Однако CDMA позволяет осуществлять передачу обслуживания, что позволяет мобильным станциям одновременно обмениваться данными с шестью базовыми станциями.

TDMA используется в большинстве сотовых систем 2G, тогда как системы 3G основаны на CDMA. Однако TDMA остается актуальной для современных систем. Например, комбинированные TDMA, CDMA и дуплекс с временным разделением (TDD) являются универсальными системами наземного радиодоступа (UTRA), которые позволяют нескольким пользователям совместно использовать один временной интервал.

3. Множественный доступ с кодовым разделением (CodeDivisionMultipleAccess – CDMA) - это стандарт цифровой сотовой сети, который использует технологию расширенного спектра. Эта технология не ограничивает цифровые сигналы или частоты полосы пропускания, а распространяется по полностью доступному спектру или по нескольким каналам посредством деления. Таким образом,

улучшены возможности передачи голоса и данных и более безопасная и личная линия.

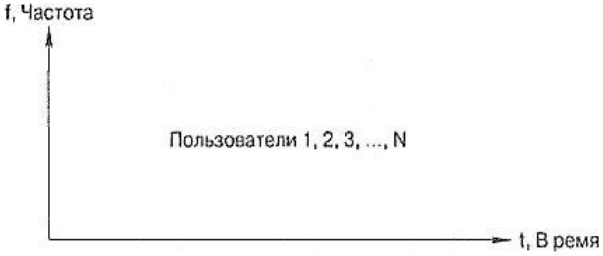


Рис.3. Множественный доступ с кодовым разделением в координатах время-частота

Технология CDMA была первоначально использована во время военных операций Второй мировой войны, чтобы помешать попыткам противника получить доступ к сигналам радиосвязи. В начале 1990-х годов Qualcommпредставила возможность использовать ту же концепцию с общедоступной технологией сотовой сети.

CDMA предлагает больше возможностей воздушного пространства, чем стандарт глобальной системы мобильной связи (GSM), основанный на множественном доступе с временным разделением каналов (TDMA). Кроме того, CDMA также использует меньшую мощность. Еще одним преимуществом технологии CDMA является его способность к мягкой передаче обслуживания между базовыми станциями, т.е. меньшая вероятность прерывания вызовов.

Основная концепция CDMA заключается в том, что пользователям, которые хотят общаться через него, предоставляется общий код. Хотя несколько кодов могут занимать один и тот же канал, только те пользователи, которые имеют один и тот же код, могут связываться друг с другом.

Поскольку стандарты CDMA и GSM имеют уникальные плюсы и минусы, предпочтительный вариант выбора технологии теперь находится в руках потенциальных клиентов. Однако окончательный выбор будет в значительной степени зависеть от наличия этих стандартов в населенных пунктах абонентов.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Колтыгин

Литература:

1. Code Division Multiple Access (CDMA) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.techopedia.com/definition/24192/code-division-multiple-access-cdma
2. Frequency Division Multiple Access (FDMA) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.techopedia.com/definition/5669/frequency-division-multiple-access-fdma
3. Time Division Multiple Access (TDMA) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.techopedia.com/definition/5089/time-division-multiple-access-tdma
4. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 2 – радиосвязь, радиовещание, телевидение / Катунин Г.П., Мамчев Г.В., Попантонопуло В.Н., В.П. Шувалов; под ред. Профессора В.П. Шувалова. – Изд. 2-е испр. И доп. – М.: Горячая линия

А.А. Семин
Братский государственный университет, г. Братск
seomin.andrew@mail.ru

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОКЛАДКА

На сегодняшний день ВОЛС является одной из самой перспективной линией связи во всем мире. Так как имеет множество преимуществ: Высокую несущую частоту(1014Гц), а следовательно широкую полосу пропускания (очень важное достоинство для системы передачи). Малое затухание, позволяющее протягивать кабель на большие расстояния без необходимости в ретрансляторах. Большая защищенность от помех и от перехвата сигнала. Имеет небольшой вес и объем, а также экономичен и достаточно долго служит.

Благодаря Оптоволокну мы имеем возможность провести высокоскоростной интернет, телефонную связь и телевидение в каждый дом.

Оптическое волокно представляет собой нить из прозрачного материала (стекло/пластик) используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения.

Строительство ВОЛС начинается с проектирования — это первый этап, на котором определяются задачи, методы реализации, технические характеристики, особенности эксплуатации.

На этапе проектирования производится:

1) расчет нагрузки;
2) выбор системы передачи;
3) выбор типа кабеля;
4) выбор метода прокладки и определение механических усилий.

Для прокладки ВОЛС существует несколько способов, но выбирается он исходя из условий местности или других факторов.

Проектирование оптоволоконных линий связи для подвески на ЛЭП. В данном случае нужно учитывать климатические условия и рельеф местности, рабочее напряжение, конструкции высоковольтной линии, а также количество волокон в кабеле.

На сегодняшний день при таком способе прокладки смотрят в основном на фактор грозозащиты. Монтаж возможно произвести без отключения высоковольтной линии, с помощью оптического самонесущего кабеля.

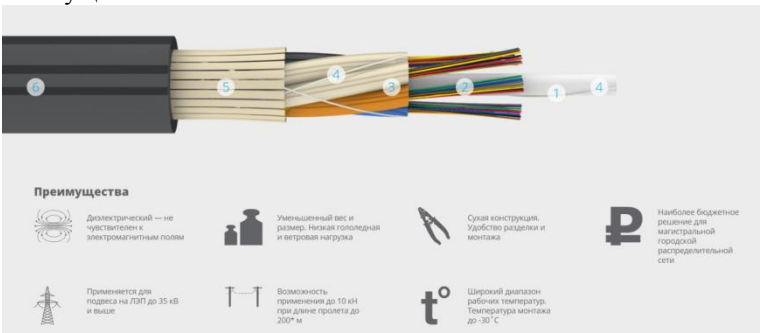


Рис.1 Легкий подвесной самонесущий кабель(ДОТс): *1* - центральный силовой элемент, стеклопластиковый стержень; *2* -оптическое волокно; *3* - оптический модуль, заполненный гидрофобным гелем; *4* - водоблокирующие нити; *5* - упрочняющий элемент из стеклонити; *6* - оболочка из полимерного материала.

Наземная прокладка ВОЛС. Прокладка ВОЛС в грунте более дорогостоящий способ, чем воздушной, но надежнее. Из основных методов можно выделить: бестраншейный метод с помощью кабелеукладчиков или установок горизонтально направленного бурения и траншейный способ.

Если грунт открытый, то используется бронированный кабель. Кабельная броня соединяется в муфтах и заземляется для защиты от гроз и воздействия линий электропередач. Для идентификации будущих линий на этапе строительства применяются маркеры.

Если монтируется группа кабелей, то применяется траншейный способ укладки. Ширина траншеи может быть от нескольких метров до нескольких сантиметров.

Один из современных способов укладки ВОЛС — монтаж кабеля в асфальтное покрытие при помощи специальной малогабаритной техники, разрезающей дорожное покрытие специального ножа. Эта технология фактически не наносит ущерб инфраструктуре дорог.

Также строительство ВОЛС может вестись методом горизонтального направленного бурения (ГНБ), который часто используется для прокладки оптоволокна через природоохранные объекты, ж/д и автодороги, аэропорты, сельскохозяйственные предприятия.

Рис.2 Кабелеукладчик в грунт

Особенности прокладки ВОЛС по дну водных объектов. На сегодняшний день ВОЛС, которую провели по дну, соединяет целые континенты. Данный способ считается очень дорогим кропотливым. Для такого метода нужно тщательно исследовать рельеф дна, проанализировать маршрут укладки, методы защиты, эксплуатации и ремонта.

При планировании маршрута прокладки ВОЛС добиваются разрешения на использование прибрежных вод отдельных государств, учитывают сейсмоактивность участка и проводят метеорологические исследования. В дальнейшем перед специалистами становится задача по выбору наилучшего способа защиты кабеля.

Прокладка подводного кабеля производится судном-кабелеукладчиком.

Рис.3 Судно-кабелеукладчик

Научный руководитель: старший преподаватель А.Д. Ульянов

Литература:

1. Вишневский Ю. Г Морская радиосвязь и телекоммуникации: учебник / Ю. Г. Вишневский, А. А. Сикарев. - СПб.: СПГУВК, 2008. - 257 с.
2. Спирин А. А. Введение в технику оптоволоконных сетей / А. А. Спирин. - М.: Наука. 1998. - 428 с.
3. Попов С. О защите информации в волоконно-оптических системах / С. Попов [и др.] // Вопросы защиты информации: науч.-практ. журн. / ФГПУ «ВИМИ». - 1993. - № 1 (24).
4. Годный В. Г. Вопросы информационной безопасности в волоконно-оптических линиях связи / В. Г. Годный // Системы безопасности. –2002. – № 2 (44).
5. Бородакий Ю. В. Проблема защиты волоконно-оптических систем и сетей от НДС. Пути и перспективы ее решения / Ю. В. Бородакий [и др.] // Системы безопасности связи и телекоммуникаций / ФГУП «Концерн Системпром». - 2001. - № 41 (5).

Научное издание

Молодая мысль – развитию энергетики

Материалы III(XVIII) Всероссийской
научно-технической конференции
студентов и аспирантов

23-27 апреля 2018

Материалы опубликованы в авторской редакции

Подписано в печать 08.06.18
Формат 60x84
Печать трафаретная
Уч.-изд. л. 18. Усл. печ. л. 18
Тираж 50 экз. Заказ ___

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО «БрГУ»
665709, Братск, ул. Макаренко, 40