

# ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ: ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

№ 10 (208)  
октябрь / 2021

Журнал зарегистрирован  
Министерством Российской Федерации  
по делам печати, телерадиовещания  
и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-17876 от 08.04.2004

ISSN 2074-9635

© ИД «Панорама»  
www.panor.ru

## Адрес редакции:

Россия, г. Москва,  
Бумажный проезд, д. 14, стр. 2  
Для писем: 125040, г. Москва, а/я 1

**Генеральный директор**  
**ИД «Панорама» —**

Председатель Некоммерческого фонда  
содействия развитию национальной  
культуры и искусства

**К. А. Москаленко**

Издательство «Промиздат»

Главный редактор

**Воскресенский Д. В.**

e-mail: oborud@panor.ru

**Журнал распространяется через  
подписку. Оформить подписку  
с любого месяца можно:**

- ☒ На нашем сайте **panor.ru**;
- ☒ Через нашу редакцию  
по тел. 8 (495) 274-2222 (многоканальный)  
или по заявке в произвольной форме  
на адрес: [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru);
- ☒ По официальному каталогу  
Почты России «Подписные издания»  
(индекс — **П7221**);
- ☒ По «Каталогу периодических изданий.  
Газеты и журналы» агентства «Урал-пресс»  
(индекс на полугодие — **84817**).

## Предложения и замечания:

e-mail: [promizdat@panor.ru](mailto:promizdat@panor.ru)  
тел.: 8 (495) 274-22-22 (многокан.)

## Отдел подписки:

тел.: 8 (495) 274-22-22 (многокан.)  
e-mail: [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru)

## Отдел рекламы:

тел.: 8 (495) 274-22-22 (многокан.)  
e-mail: [reklama@panor.ru](mailto:reklama@panor.ru)

Журнал издается под эгидой  
Международной Академии  
технических наук и промышленного  
производства

Учредитель:  
ООО «ИНDEPENDЕНТ МАСС МЕДИА»,  
121351, г. Москва,  
ул. Молодогвардейская, д. 58, стр. 7  
Приглашаем авторов  
к сотрудничеству. Статьи в журнале  
публикуются бесплатно.

Подписано в печать: 14.10.2021 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕМА НОМЕРА:

## ИННОВАЦИИ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

## СЕТИ И СИСТЕМЫ

**Оценка влияния многоместных замыканий  
на землю на потребителя 0,4 кВ в электрических  
сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью .....4**

**Туитяров А. М., Хабибуллин М. Н., Рахматуллин Р. Р.**

Развитие электроники, информационных технологий, машин, робототехники, аппаратов и всевозможных станков с числовым программным управлением в настоящее время задает высокие требования к электрооборудованию промышленных предприятий [1]. Обеспечить требуемую категорию электроснабжения удается далеко не везде, особенно остро данный вопрос стоит в сельской местности. В современных условиях электросетевым компаниям придется совершать новый качественный переход по улучшению показателей надежности и качества предоставляемых услуг.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ

**Исследование условий эксплуатации приводных  
электродвигателей газоперекачивающих  
агрегатов .....9**

**Бугрезев А. Б., Проскуряков Д. В., Крюков О. В.**

Представлены результаты исследований по изучению статистики отказов и параметров основных эксплуатационных факторов, влияющих на повреждаемость электроприводных газоперекачивающих агрегатов магистрального транспорта газа. Показано, что наибольшее количество отказов технологических установок связано с электрическим пробоем изоляции в пазовой части статорной обмотки высоковольтного электродвигателя переменного тока. Представлены объективные факты, подтверждающие существенное влияние частичных разрядов в высоковольтной изоляции синхронного двигателя на долговечность и параметры повреждаемости в статических и динамических режимах. Предложены рекомендации по увеличению ресурса приводных двигателей и повышению их энергоэффективности на компрессорных станциях.

**Анализ эффективности использования  
локомотивов электрической тяги на равнинном  
участке железной дороги .....22**

**Абляимов О. С.**

Представлены результаты исследований по обоснованию энергетических показателей перевозочной работы локомотивов электрической тяги без остановок и с остановками на виртуальном равнинном участке железной дороги. Для реализации поставленной цели исследований были выполнены тяговые расчеты, опираясь на разработанные математические модели ведения грузовых поездов одним из локомотивов электрической тяги, основу которых составило известное дифференциальное уравнение движения поезда, решение которого осуществлялось графическим методом. Результаты исследований получены в виде табличных данных, графических зависимостей и уравнений регрессии, предназначенных для определения основных показателей перевозочной работы локомотивов электрической тяги на виртуальных и идентичным им реальных равнинных участках железной дороги, и рекомендуются для внедрения в практику работы специалистов локомотивного комплекса узбекских железных дорог.

#### Редакционный совет:

**Киреева Э.А.**, канд. техн. наук, доцент, НИУ МЭИ, Москва

**Гамазин С.И.**, д-р техн. наук, профессор, НИУ МЭИ, Москва

**Кувалдин А.Б.**, д-р техн. наук, профессор, НИУ МЭИ, Москва

**Жилин Б.В.**, д-р техн. наук, профессор, Новомосковский институт Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, г. Новомосковск, Тульская обл.

**Корнилов Г.П.**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

**Михеев Г.М.**, д-р техн. наук, профессор кафедры электрических систем физики и математики, Чебоксарский политехнический институт (филиал Московского государственного университета машиностроения, МАМИ), г. Чебоксары

**Цырук С.А.**, канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой, НИУ МЭИ, Москва

**Крюков О.В.**, д-р техн. наук, действит. член Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

#### Editorial board:

**Kireeva E.A.**, PhD of technical sciences, associate professor, NRU MPEI, Moscow;

**Gamazin S.I.**, Dr. habil. of technical sciences, professor, NRU MPEI, Moscow;

**Kuvaldin A.B.**, Dr. habil. of technical sciences, professor, NRU MPEI, Moscow;

**Zhilin B.V.**, Dr. habil. of technical sciences, professor, Novomoskovsk institute of Russian chemico-technological university named after D.I. Mendeleev, city of Novomoskovsk, Tula region;

**Kornilov G.P.**, Dr. habil. of technical sciences, professor, the head of department of power supply at the industrial enterprises, Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, city of Magnitogorsk;

**Mikheev G.M.**, Dr. habil. of technical sciences, Professor, Department of electrical systems of physics and mathematics Institute of the Cheboksary branch of the Moscow state Polytechnical University, Cheboksary;

**Tsyruk S.A.**, PhD of technical sciences, professor, the head of department, NRU MPEI, Moscow;

**Kriukov O. V.**, Dr. habil. of technical sciences, full member of the Academy of engineering sciences named after A.M. Prokhorov, associate professor of the Nizhny Novgorod state technical university named after R.E. Alekseev, city of Nizhny Novgorod

## МОДЕЛИ И РАСЧЕТЫ

### Моделирование кривой мощности солнечного модуля ..... 31

**Канарейкин А. И.**

*Сегодня солнечное электричество широко используется в удаленных районах, где нет централизованного электроснабжения, или для электроснабжения домов, офисов и других зданий в местах, где есть централизованная сеть электроснабжения. Работа посвящена оптимизации и увеличению эффективности использования солнечных панелей за счет метода отслеживания точки максимальной мощности. Проведен анализ проблемы применения данного метода. В статье приведена формула для расчета кривой мощности солнечного модуля. Достоверность полученного результата подтверждается на основании функционального анализа.*

## РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ

### Электромагнитная совместимость в системе электроснабжения механического цеха ЗАО «Сибгазстройдеталь» с электроустановками индукционного нагрева ..... 35

**Руди Д. Ю.**

*В рассматриваемой статье проведено исследование в системе электроснабжения механического цеха ЗАО «Сибгазстройдеталь» в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 30804.4.7-2013 и в соответствии с программой измерений. Описан способ обработки результатов исследований, полученных в ходе проведения эксперимента. Все показатели качества электроэнергии обработаны при помощи программ для ЭВМ, созданные в среде графического программирования Labview. Выполнен анализ показателей качества электрической энергии требованиям ГОСТ 32144-2013, по результатам которого в электрической сети 0,4 кВ обнаружены кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи по коэффициенту  $n$ -й гармонических составляющих напряжения. Полученные значения показателей качества электрической энергии, характеризующих коэффициент  $n$ -й гармонических составляющих напряжения, подтверждают необходимость применения технических средств по снижению влияния высших гармоник на электрические сети.*

### Магнитные полупроводники для эффективных термоэлектрических преобразователей энергии..... 44

**Филимонов С. С.**

*Оценка перспектив магнитных полупроводников для использования их в создании термоэлектрических преобразователей энергии.*

### Анализ и оценка косвенных методов определения параметров изоляции сетей напряжением выше 1000 В ..... 46

**Бобоев Х. Д.**

*В статье рассматривается оценка метода, основанного на подключении дополнительной емкости к одной из фаз для определения косвенным методом параметров изоляции фаз относительно земли сетей с изолированной нейтралью напряжением 6 кВ в программной среде MATLAB/SIMULINK. Приведены результаты исследования влияния различных факторов на точность измерений параметров сопротивления изоляции фаз сети относительно земли.*

## БЕЗОПАСНОСТЬ

### Общая характеристика сопротивления изоляции относительно земли в сетях напряжением 6–10 кВ Республики Таджикистан .....51

**Бобоев Х. Д., Давлатов А. М., Косимов Б. И.**

*В статье рассматривается уровень изоляции ряда распределительных электрических сетей напряжением 6–10 кВ в Республике Таджикистан. Параметры изоляции относительно земли были определены расчетным путем на основании методик, разработанных на кафедре «Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета. Полученные данные необходимы для выбора средства обеспечения безопасности и оценки уровня безопасности.*

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

### Состояние малой энергетики в Республике Таджикистан и анализ традиционных структур мини-ГЭС .....55

**Давлатов А. М., Бобоев Х. Д., Косимов Б. И.**

*В статье приводится краткая справка по истории развития электроэнергетики в Таджикистане. Показано, что во многих труднодоступных горных районах подключение бытовых потребителей, кишлаков с небольшим количеством населения, оказывается либо экономически нецелесообразно, либо вообще невозможно из-за сложного горного рельефа местности, не позволяющего провести линию электропередачи. Приводятся структурные схемы построения малых и микро-ГЭС, на основании анализа которых делается вывод о необходимости их упрощения за счет сокращения числа функциональных узлов и расширения их функций.*

### Современное инженерное образование в странах мира .....61

**Фиговский О. Л.**

*Технические специальности относятся к числу самых востребованных профессий в мире. Спрос на них возрастает. Какие университеты мира дают лучшее техническое образование, и как готовить кадры высококвалифицированных инженеров.*

## ПАТЕНТЫ И ИЗОБРЕТЕНИЯ

### Устройство для электроосмотического способа защиты и диагностирования обмоток погружных электродвигателей.....71

**Трушкин В. А., Козичев Р. В.**

*Полезная модель относится к электротехнике и предназначена для увеличения межремонтного периода погружных электродвигателей, находящихся в эксплуатации, путем поддержания уровня изоляции на должном уровне без подъема технологического оборудования. Предлагаемое устройство может быть использовано в отраслях народного хозяйства, занимающихся водоснабжением населенных пунктов и промышленных объектов.*

### Цифровая трансформаторная подстанция .....74

**Виноградов А. В., Сорокин Н. С., Виноградова А. В., Лансберг А. А., Букреев А. В., Большев В. Е.**

*Изобретение относится к области электротехники, в частности, к трансформаторным подстанциям 10/0,4 кВ, и предназначено для применения в активно-адаптивных электрических сетях.*

**Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).**

УДК 620.9

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МНОГОМЕСТНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ НА ПОТРЕБИТЕЛЯ 0,4 КВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–35 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

**Туитяров А. М.**, инженер лаборатории испытания интеллектуальных систем,  
**Хабибуллин М. Н.**, начальник лаборатории испытания интеллектуальных систем,

**Рахматуллин Р. Р.**, инженер службы релейной защиты, автоматики и измерений,

АО «Сетевая компания»

Развитие электроники, информационных технологий, машин, робототехники, аппаратов и всевозможных станков с числовым программным управлением в настоящее время задает высокие требования к электроснабжению промышленных предприятий [1]. Обеспечить требуемую категоричность электроснабжения удастся далеко не везде, особенно остро данный вопрос стоит в сельской местности. В современных условиях электросетевым компаниям придется совершать новый качественный переход по улучшению показателей надежности и качества предоставляемых услуг.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, двойное замыкание на землю, многоместное замыкание на землю, однофазное замыкание на землю, резистивное заземление нейтрали.

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF MULTIPLE EARTH FAULTS ON THE 0.4 KV CONSUMER IN 6–35 KV ELECTRIC NETWORKS WITH INSULATED NEUTRAL

**Tuityarov A. M.**, engineer of the laboratory for testing intelligent systems,

**Khabibullin M. N.**, head of the laboratory for testing intelligent systems,

**Rakhmatullin R. R.**, engineer of the relay protection, automation and measurement service,

JSC "Grid Company"

The development of electronics, information technology, machines, robotics, apparatus and all kinds of machine tools with numerical control currently sets high requirements for the power supply of industrial enterprises [1]. It is not possible to ensure the required categorization of power supply everywhere; this issue is especially acute in rural areas. In modern conditions, power grid companies will have to make a new qualitative transition to improve the reliability and quality of services provided.

**Keywords:** distribution network, double earth fault, multiple earth fault, single phase earth fault, resistive neutral ground.



Для однофазных замыканий на землю в распределительной сети традиционно составляет большую часть среди всех видов аварий. Большая часть замыканий на сегодняшний день не отключается аппаратами релейной защиты, которая лишь срабатывает на сигнал. До сих пор работа сети с «землей» в некоторых сетях может достигать более суток по времени. Данная практика опасна как для электрооборудования, так и для электротехнического персонала. Исключение составляют лишь современные обновленные городские кабельные сети, на которых применяются системы автоматического восстановления сети [2] в комплексе с селективными защитами от однофазных замыканий на землю и индикаторами повреждения.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

У одного из промышленных трехфазных потребителей 0,4 кВ, эксплуатирующего роботизированную молочную ферму, выявлено периодическое повышение напряжения свыше 300 В на одной фазе и падение ниже 100 В на остальных, что недопустимо с точки зрения качества электроэнергии [3]. Естественно, чувствительное оборудование, управляемое промышленными компьютерами, находящееся на эксплуатации у данного потребителя, периодически останавливалось. Для

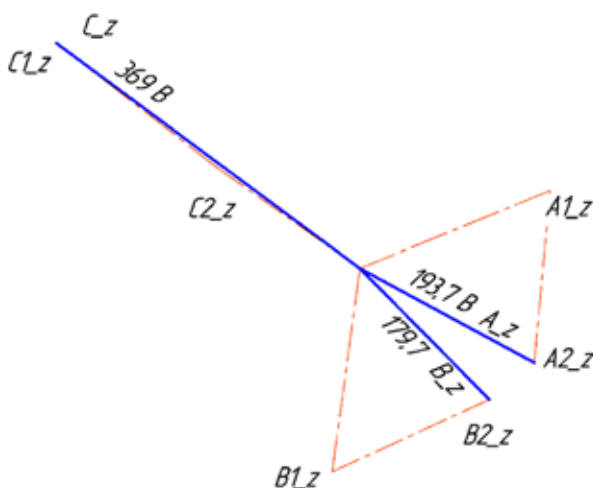


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений на стороне 0,4 кВ потребителя

электрообеспечения данного потребителя была предусмотрена отдельная трансформаторная подстанция ТМГ 10/400 с соединением обмоток звезда-зигзаг ( $Y/Z_n$ ). Данный тип соединения обмоток силового трансформатора позволяет выровнять несимметрию по фазам и улучшить качество электрообеспечения [4]. Распределительная электрическая сеть 10 кВ, питающая данную подстанцию, выполнена на воздушных линиях электропередачи и эксплуатируется в изолированном режиме работы нейтрали. К ВРУ 0,4 кВ потребителя также подключена дизельная ЭС мощностью, запуск которой производится посредством АВР 0,4 кВ.

На момент обследования на шинах ВРУ 0,4 кВ была зафиксирована векторная диаграмма напряжений, изображенная на рис. 1.

На питающей подстанции 110/10 кВ была зафиксирована векторная диаграмма напряжений, изображенная на рис. 2.

Осциллограмма напряжений изображена на рис. 3.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для того, чтобы понять, какому режиму соответствует данная векторная диаграмма, были проведены эксперименты в

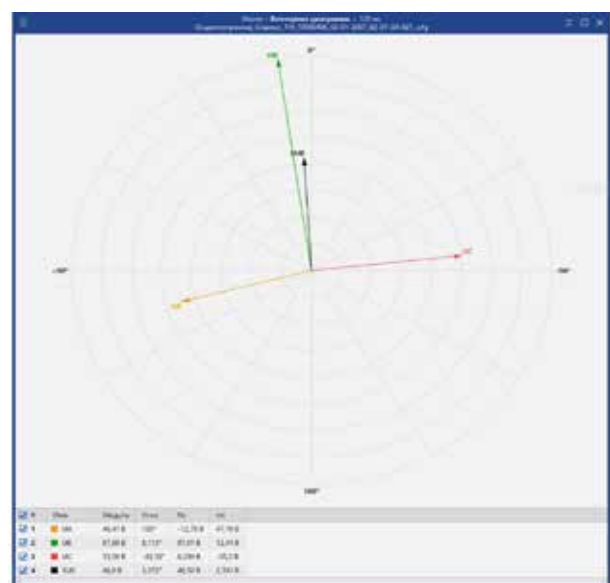


Рис. 2. Векторная диаграмма напряжений на подстанции 110/10 кВ на стороне 10 кВ

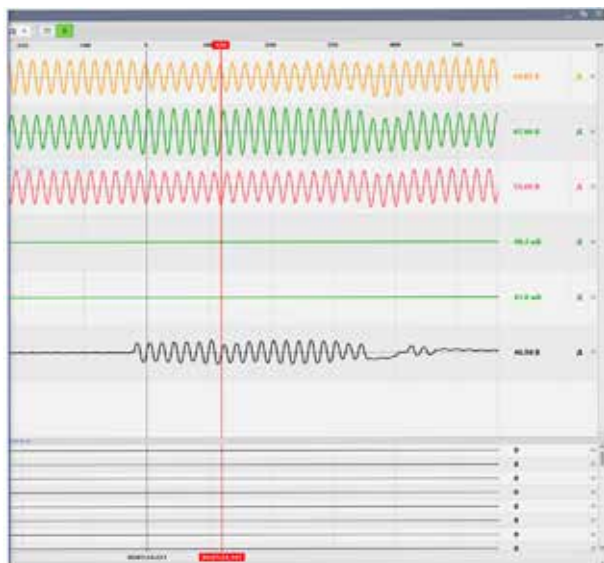


Рис. 3. Осциллограмма напряжений на подстанции 110/10 кВ на стороне 10 кВ

графической среде имитационного моделирования Matlab Simulink. Разработана модель РЭС с изолированной нейтралью (рис. 4), имитирующая 2 фидера с воздушными линиями электропередачи.

Симитированы все возможные виды повреждений, которые возникают в электрической сети, и был сделан вывод, что наиболее приближенным событием, при котором происходит разворот векторов напряжения, зафиксированный на реаль-

ном объекте (рис. 2 и 3), является двойное замыкание не землю.

На рис. 5 представлена векторная диаграмма смоделированного процесса, а на рис. 6 – осциллограмма. Как видно из рис. 5 и 6, переходной процесс в реальной сети незначительно отличается от смоделированного.

Ввиду того, что векторы напряжения смещаются к центру почти синхронно, ОЗЗ происходят практически одновременно. Второе ОЗЗ предположительно вызвано пробоем изоляции из-за повышения напряжения на здоровых фазах во время первого ОЗЗ. Ввиду того, что защиты во время данного повреждения не срабатывали, ток повреждения был мал и предположительно замыкался через большое переходное сопротивление.

В настоящее время самым оптимальным решением данной проблемы является перевод сети с изолированной на резистивно-заземленную нейтраль [5]. В случае воздушных линий электропередачи необходим высокоомный резистор в нейтрали сети, а в случае присутствия в сети высоких значений емкостных токов, таких как в кабельных сетях, необходим низкоомный резистор [6].

Резистивное заземление нейтрали позволяет решить сразу несколько про-

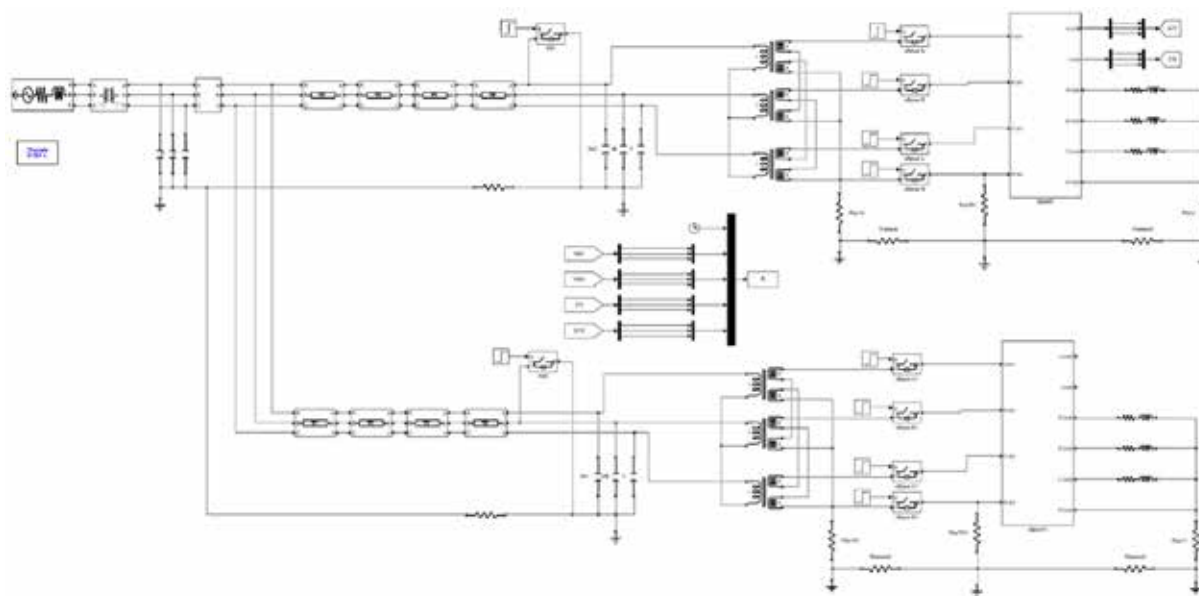


Рис. 4. Модель РЭС при двойном замыкании на землю в MATLAB SIMULINK

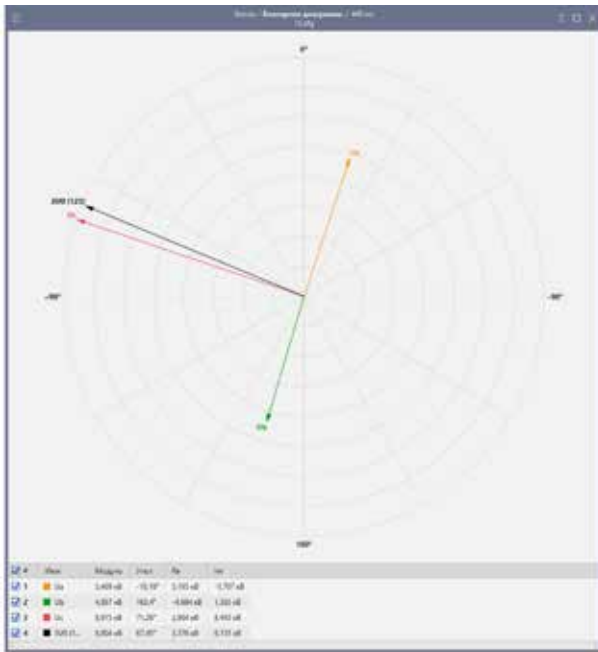


Рис. 5. Векторная диаграмма напряжений смоделированного двойного замыкания на землю в MATLAB SIMULINK



Рис. 6. Осциллограмма напряжений смоделированного двойного замыкания на землю в MATLAB SIMULINK

блем распределительной сети среднего напряжения:

- селективное определение места однофазного замыкания (защиты строятся по простому токовому принципу и реагируют на активную составляющую тока, создаваемую резистором);
- практически полное исключение перенапряжений и феррорезонансных процессов (перенапряжения возможны только в первый период замыкания, когда высокочастотная составляющая тока нулевой последовательности создает высокое сопротивление через нейтралеобразующий трансформатор, к которому подсоединен резистор);
- снижение аварийности за счет исключения развития однофазного замыкания на землю и переход его в короткое замыкание или многоместное замыкание на землю.

## ВЫВОДЫ

Двойное замыкание на землю в сети 6–35 кВ с изолированной нейтралью может протекать без существенного увели-

чения тока и не вызывать срабатывание максимальной токовой защиты или токовой отсечки, соответственно, при настройке защиты от замыканий на землю на сигнал данный режим не отключается и приводит к недопустимому изменению напряжения на стороне НН силового трансформатора на шинах 0,4 кВ потребителя.

Доля подобных замыканий в общем числе аварий должным образом не исследована, и делать вывод о невозможности работы сети с изолированной нейтралью с «землей» будет некорректно.

Для исключения многоместных замыканий на землю в сети 6–35 кВ необходимо применение резистивного заземления нейтрали.

Для предотвращения подобных многоместных замыканий в сети с изолированной нейтралью пригодно большинство селективных токовых защит от замыканий на землю [7], а также индикаторы короткого замыкания, которые монтируются на провод [8].

В целях недопущения повреждения электрооборудования потребителей 0,4 кВ при многоместных замыканиях

на землю в сети 10 кВ в ВРУ – 0,4 кВ необходимо устанавливать реле контроля фаз [9].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системы электроснабжения. Ч. 1: Основы электроснабжения: курс лекций / А.М. Ершов. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2017. – 245 с.

2. Система автоматического восстановления электроснабжения (САВС) сетей 6, 10 и 20 кВ (FLISR/FDIR). – ООО «Прософт-Системы». – <https://prosoftsystems.ru/solution/show/sistema-avtomaticheskogo-vozstanovlenija-jelektrosnabzhenija-savs-setej-6kv-10kv-20kv-flisrfdir>

3. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

4. **Каминский Е.А.** К18 Звезда, треугольник, зигзаг. – 5-е изд., переработ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.

5. Режим заземления нейтрали в задаче автоматизации распределения электроэнергии и построения интеллектуальных сетей / В.Н. Валов, А.И. Ширковец, А.Г. Лиске, А.В. Телегин // Энергетик. – 2019. – № 10. – С. 20–25.

6. Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 142-2007 (Revision of IEEE Std 142-1991). Approved 7 June 2007 IEEE-SA Standards Board.

7. Микропроцессорный терминал «Бреслер-0107.081». Защита от однофазных замыканий на землю с функцией определения поврежденного фидера в сетях 6–35 кВ распределенного исполнения // Руководство по эксплуатации БРСН.656122.081. – РЭ. – ООО «НПП Бреслер». – 27.12.2020.

8. Комплект индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л-УЗ (6–35 кВ) // Руководство по эксплуатации ИКЗЛУ. – РЭ В54.01-03. – Фрязино.

9. Zelio Control Relays. Near Field Communication and conventional Control Relays. Schneider Electric Industries SAS January 2021 – V4.0.

### ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

УПРАВЛЕНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫМ  
ПРОИЗВОДСТВОМ



На правах рекламы

подписные индексы



82715



П7311

### ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

ge.panor.ru

В каждом номере: материалы, необходимые для повседневной деятельности технического руководства промпредприятий; антикризисное управление производством; поиск и получение заказов; организация производственного процесса; принципы планирования производства.

Наши эксперты и авторы: **Афанасьев Ф.И.**, главный инженер Стерлитамакского ОАО «Каустик»; **Луценко А.Н.**, техн. директор Череповецкого металлургического комбината ОАО «Северсталь», канд. техн. наук; **Цепилов А.В.**, техн. директор ОАО «Завод «Красное Сормово»; **Воробей С.А.**, главный инженер Гурьевского метзавода; **Гапанович В.А.**, вице-президент, главный инженер ОАО «РЖД»; **Томарев Г.И.**, главный инженер Волгоградского металлургического завода «Красный Октябрь»; **Гребенщиков А.А.**, главный инженер Воронежского механического завода; **Викалюк А.Д.**, техн. директор Копейского машиностроительного завода; **Немцов И.Ю.**, главный инженер компании «Термопол-Москва», другие ве-

дущие специалисты и топ-менеджеры промышленных предприятий, а также технические специалисты ассоциаций и объединений, промышленных предприятий, ученые, специалисты в области управления производством.

Издается при информационной поддержке Российской инженерной академии и Союза машиностроителей.

Ежемесячное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Управление производством
- Антикризисный менеджмент
- Реконструкция и модернизация производства
- Передовой опыт
- Новая техника и оборудование
- Инновационный климат
- Стандартизация и сертификация
- IT-технологии
- Промышленная безопасность и охрана труда

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).



УДК 621.3:656.56

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИВОДНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

**Бугрезов А.Б.**, ведущий инженер,

**Проскуряков Д. В.**, ведущий инженер,

**Крюков О.В.**, д-р техн. наук, зам. директора по науке

E-mail: o.kryukov@mail.ru,

ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород

*Представлены результаты исследований по изучению статистики отказов и параметров основных эксплуатационных факторов, влияющих на повреждаемость электроприводных газоперекачивающих агрегатов магистрального транспорта газа. Показано, что наибольшее количество отказов технологических установок связано с электрическим пробоем изоляции в пазовой части статорной обмотки высоковольтного электродвигателя переменного тока. Представлены объективные факты, подтверждающие существенное влияние частичных разрядов в высоковольтной изоляции синхронного двигателя на долговечность и параметры повреждаемости в статических и динамических режимах. Предложены рекомендации по увеличению ресурса приводных двигателей и повышению их энергоэффективности на компрессорных станциях.*

**Ключевые слова:** система мониторинга, эксплуатационные факторы, электроприводной газоперекачивающий агрегат, изоляция обмотки статора двигателя, частичные разряды.

## INVESTIGATION OF THE OPERATING CONDITIONS OF DRIVE ELECTRIC MOTORS OF GAS PUMPING UNITS

**Bugrezov A. B.**, leading engineers,

**Proskuryakov D. V.**, leading engineers,

**Kryukov O. V.**, doctor of technical sciences, deputy. director of science,

TSN-electro LLC, city of Nizhny Novgorod

*The results of research on the study of failure statistics and parameters of the main operational factors affecting the damage of electric gas pumping units of the main gas transport are presented. It is shown that the greatest number of failures of technological installations is associated with an electrical breakdown of the insulation in the grooved part of the stator winding of a high-voltage AC electric motor. Objective facts confirming the significant influence of partial discharges in the high-voltage*

*insulation of a synchronous motor on the durability and damage parameters in static and dynamic modes are presented. Recommendations for increasing the service life of drive motors and improving their energy efficiency at compressor stations are proposed.*

**Keywords:** *monitoring system, operational factors, electric gas pumping unit, insulation of the motor stator winding, partial discharges.*

## ВВЕДЕНИЕ

Магистральный транспорт газа по Единой системе газоснабжения (ЕСГ) России осуществляется посредством компрессорных станций (КС) с применением газоперекачивающих агрегатов разных типов и мощностей, часть из которых (более 700 шт.) составляют электроприводные газоперекачивающие агрегаты (ЭГПА) [1–3].

Обладая более простой конструкцией, ЭГПА имеют более высокие показатели надежности и энергоэффективности, чем газотурбинные ГПА. Однако необходимо учитывать, что вынужденный или аварийный останов любого нагнетателя магистрального газопровода ведет не только к большим затратам на ремонтно-восстановительные работы [4–7], но и снижению производительности газопровода в целом, при отсутствии необходимых резервов на КС, а также значительным потерям топливного газа, электроэнергии и ГСМ.

Несмотря на более чем полувековую историю проектирования и создания мощных электроприводов турбокомпрессоров для транспорта газа, исследования по повышению экономической эффективности, экологичности и надежности их работы в рамках КС продолжают и сегодня [8–12]. Вопросам повышения надежности, живучести и долговечности оборудования КС магистральных газопроводов как дорогостоящих объектов повышенной опасности в отрасли уделялось большое внимание, поскольку материальный, социальный и экологический ущерб (а иногда и политический резонанс) от аварий и нештатных ситуаций несопоставим с другими производствами и технологическими процессами. В первую очередь это относится к цифровым подстанциям (рис. 1), электроприводам

нагнетателей КС, которые отличаются высокими предельными мощностями (до 50 МВт), сложной и уникальной системой вспомогательного оборудования и значительными материальными затратами на ремонт и восстановление работоспособного состояния.

К настоящему времени разработано немало теоретически обоснованных универсальных методов диагностики технического состояния оборудования, включая и электрические машины [13–17]. Разработаны и действуют отраслевые стандарты и регламенты по диагностике электрооборудования КС.

Однако вопросам разработки оперативных, адекватных и эффективных систем диагностирования электрооборудования ГПА и мониторинга их параметров в рамках АСУ КС уделяется недостаточное внимание. Для этих целей в основном используются автономные или переносные однопараметрические системы, фиксирующие уже наличие самого факта неисправностей или отказов. Данные локальные средства контроля и диагностики решают только частные задачи,



Рис. 1. Современная комплектная трансформаторная подстанция

не обеспечивая функций достоверного предупреждения (прогнозирования) наступления аварий, автоматического выявления их причин и быстрого восстановления штатных режимов, а также комплекса проблем автоматизации современного дорогостоящего оборудования КС. Анализ крупнейших аварий и нештатных ситуаций электроэнергетического оборудования в последнее время и принятые нормативные акты РФ дополнительно стимулируют поиск инновационных технологий мониторинга и достоверности прогноза технического состояния приводов нагнетателей для повышения надежности, энергосбережения и удобства обслуживания оборудования ЭГПА и в целом КС и линейных производственных участков магистральных газопроводов.

В настоящее время самым перспективным из существующих методов мониторинга приводных электродвигателей ГПА является синтез встроенных систем мониторинга и прогнозирования (ВСМП) состояния на базе современных микроконтроллеров и лингвистических алгоритмов нечеткой логики [18–21]. Применение fuzzy-контроллеров с интеллектуальными датчиками позволяет обеспечить энерго- и ресурсосбережение, модернизацию и комплексную автоматизацию АСУ КС, повысить надежность и удобство обслуживания с единого диспетчерского поста. Комплект ПО, реализуемый на базе микропроцессорной системы управления ЭГПА, позволяет обеспечить оптимальные режимы работы нагнетателя и сервисные функции КС. Унифицированность современного электропривода ГПА и возможности компьютерных средств автоматизации обуславливают возможность их интеграции в рамках АСУ КС. При этом помимо функций непрерывного мониторинга состояния электрооборудования дополнительно решаются наиболее рационально задачи диспетчеризации и телемеханики, энерго- и ресурсосбережения, повышения надежности и удобства технического обслуживания.

В этой связи комплексное решение перечисленных проблем путем систем-

ного статистического анализа экспериментальных данных по неисправностям ЭГПА и создания автоматизированной системы мониторинга технического состояния приводных электродвигателей ГПА, включая теоретически обоснованную методику разработки алгоритмического и программного обеспечения ВСМП, является актуальным и представляет большой практический интерес [22–30].

### **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Для выявления наиболее существенных эксплуатационных факторов, влияющих на надежность электродвигателей, выполнен комплексный анализ условий эксплуатации ЭГПА, включающий в себя: сбор и обработку информации о повреждаемости двигателей; анализ режимов работы электродвигателей в номинальных режимах работы; анализ режимов работы электродвигателей при режимных возмущениях питающей сети. Для определения наиболее опасных и критичных элементов составных частей ЭГПА, влияющих на уровень его надежности в целом, проанализирована статистика отказов 131 ЭГПА за 2006–2014 гг. [1, 4], результаты которого с учетом градации тяжести последствий отказов по пятибалльной шкале (1 – низшая тяжесть, 5 – высшая тяжесть последствий) сведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, наиболее тяжелым по своим последствиям является повреждение изоляции статора приводного двигателя. При этом стоимость ремонта может достигать 40–70 % от стоимости нового электродвигателя. Наименьшие последствия имеют отказы, обусловленные нарушением внешнего электропитания. В этом случае ремонт ЭГПА не требуется, режим работы газопровода восстанавливается уже через 15–30 мин. Отказы различных систем и элементов ЭГПА имеют не только прямые последствия по ущербу, которые можно рассчитать, но и отказы, влияние которых ска-

Таблица 1

**Сводные данные по отказам ЭГПА**

| Тип отказавшего оборудования в ЭГПА      | % от общего числа отказов | Время устранения отказа, ч | Тяжесть последствий отказа, балл |
|------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Внешнее электроснабжение                 | 15                        | до 0,5                     | 1                                |
| Высоковольтная ячейка в ЗРУ-10 кВ        | 5                         | 4–40                       | 2–3                              |
| Пробой изоляции статора приводного СД    | 3                         | 80–8000                    | 5                                |
| Система возбуждения приводного СД        | 25                        | 4–16                       | 2                                |
| АЩСУ (щит 0,4 кВ для нужд ЭГПА)          | 10                        | 4–16                       | 2                                |
| ЩАВР (щит 0,4кВ АВР возбудителя)         | 2                         | 4–16                       | 2                                |
| Подшипники скольжения двигателя          | 8                         | 17–40                      | 3                                |
| Насосы масляного уплотнения нагнетателя  | 2                         | 4–40                       | 2–3                              |
| САУ ЭГПА (отказ датчиков, сбой ПО и др.) | 30                        | 4–16                       | 2                                |

Таблица 2

**Данные о распределении повреждений в зависимости от условий работы СД**

| Условия возникновения повреждения статора СД                | Доля повреждений, % |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|
| При рабочем напряжении питания                              | 52                  |
| При перенапряжениях от однофазных замыканий в питающей сети | 15                  |
| При пуске                                                   | 15                  |
| Механические и термические повреждения                      | 10                  |
| При проведении высоковольтных испытаний                     | 8                   |

зывается на сокращении ресурса других деталей и узлов ЭГПА в будущем.

В работах [1, 4, 5] проведены некоторые данные по основным эксплуатационным факторам, влияющим на ресурс статора приводного электродвигателя ЭГПА. Основными факторами, влияющими на ресурс статора высоковольтного электродвигателя, являются: температурные режимы электродвигателя, воздействие электрических полей на изоляцию обмотки статора в номинальных и переходных режимах работы электродвигателя и питающей его сети, механические нагрузки.

Анализ повреждаемости приводных высоковольтных двигателей СТД-12500-2 на КС ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» выполнен за период с 1985 по 2014 г. [1, 6, 7]. Всего за данный период эксплуатации зафиксировано 62 случая

выхода из строя СД при средней аварийности СД из-за повреждений обмоток статора и составляет 2,7 шт./год. В табл. 2 приведены данные о распределении повреждений в зависимости от условий эксплуатации и характерные места возникновения повреждений обмоток СД.

Результаты распределения повреждений показывают, что наибольшее количество выходов из строя ЭГПА связано с электрическим пробоем изоляции в пазовой части обмотки. По данным аварийной статистики ЭГПА, в соответствии с выражением потока отказов

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t} \quad (1)$$

выполнен расчет изменения эксплуатационной надежности ЭГПА за анализируемый период, результаты которого при-



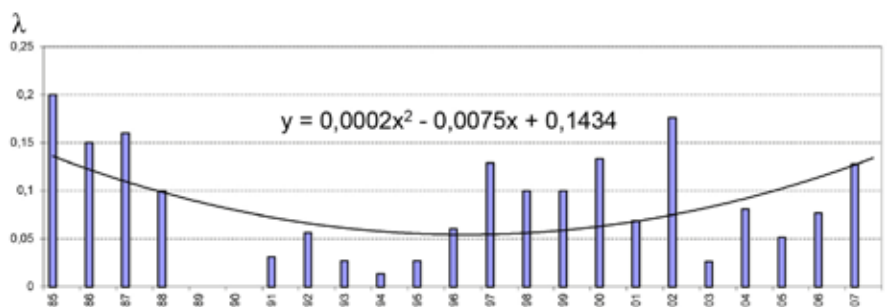


Рис. 2. Расчетная кривая изменения параметра потока отказов ЭГПА

ведены на рис. 2. При этом интерполяционной функцией потока отказов является кривая, близкая к параболе.

Полученные данные практически совпадают с классическими положениями теории надежности, в соответствии с которой при увеличении времени эксплуатации параметр потока отказов оборудования возрастает. При анализе мест повреждения статора СД выявлено, что доля повреждений в пазовой части обмотки составляет 86 %, в лобовой – 11 %, а на выводах – 3 %. Из приведенных данных видно, что в основном повреждения происходят в установившемся режиме СД, причем, подавляющее большинство из них – в пазах обмотки. Несмотря на сложности точного определения номера паза и стержня обмотки, в которых произошел пробой при эксплуатации СД ЭГПА,

фиксированные места повреждений на десяти испытуемых СД сведены в табл. 3.

Сопоставление выявленных мест повреждения изоляции обмоток двигателя СТД-12500-2 показало, что более 60% повреждений в пазовой части произошло в первых витках обмотки при наибольшем рабочем напряжении стержней. Как правило, развитие аварии начинается с момента срабатывания защиты от замыкания на землю с последующим междуфазным замыканием, что свидетельствует о повреждениях корпусной изоляции. Основная часть повреждений приходится на середину пазовой части обмотки, менее подверженную механическим нагрузкам. В этой части обмотки наибольшее влияние на интенсивность старения изоляции оказывают температура и электрические поля. Причем, 40 % всех повреждений в

Таблица 3

**Результаты определения номеров пазов и стержней статорной обмотки СД, в которых фиксировались пробой изоляции**

| № паза статора | Фаза | Фазное рабочее напряжение стержня, В |        | Кол-во случаев пробоя изоляции |
|----------------|------|--------------------------------------|--------|--------------------------------|
|                |      | верхний                              | нижний |                                |
| 5              | A    | 4500                                 |        | 3                              |
|                | C    |                                      | 6000   |                                |
| 6              | A    | 4125                                 |        | 1                              |
|                | C    |                                      | 5625   |                                |
| 17             | B    | 6000                                 |        | 2                              |
|                | B    |                                      | 1875   |                                |
| 28             | A    | 1500                                 |        | 1                              |
|                | A    |                                      | 3375   |                                |
| 40             | C    | 3375                                 |        | 3                              |
|                | B    |                                      | 4875   |                                |

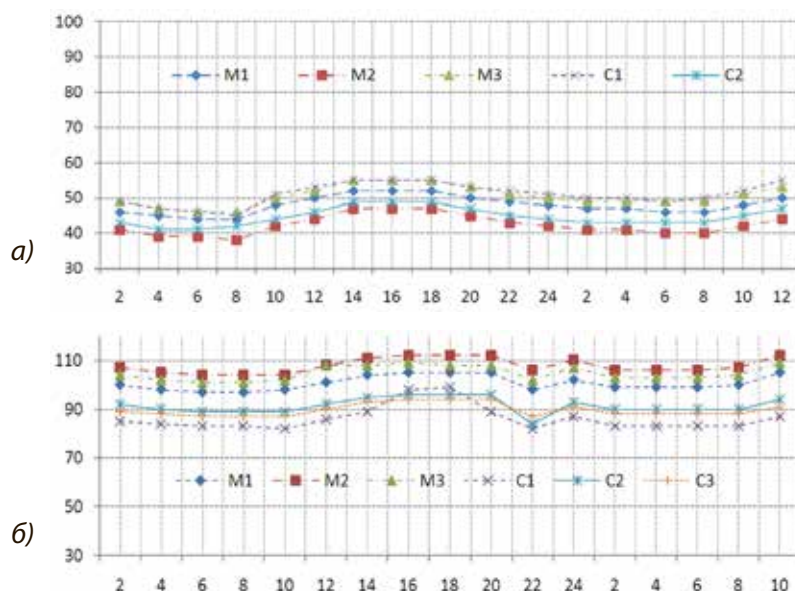


Рис. 3. Суточные изменения температуры статоров ЭГПА-12,5 КС «Починковская»

пазовой части произошло при наработке 50–60 тыс. часов.

### АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ

Приводной электродвигатель типа СТД-12500-2 имеет разомкнутый цикл воздушного охлаждения, изоляцию статора типа «Монолит-2» и класс нагревостойкости «В». В соответствии с [1] наиболее существенно на срок службы изоляции влияет рабочая температура обмоток. Результаты измерения температуры меди (температура обмотки статора по одной точке в каждой фазе), стали (температура сердечника статора по одной точке

в каждой фазе) и охлаждающего воздуха в одном из компрессорных цехов КС «Починковская» приведены на рис. 3. Все замеры выполнены с интервалом 2 часа по показаниям штатных систем контроля температуры ЭГПА (рис. 3а – штатная работа СД, рис. 3б – аварийный режим). Основные среднесуточные параметры агрегатов приведены в табл. 3.

На агрегатах, работающих при одинаковой нагрузке и температуре охлаждающего воздуха, наблюдались значительные отличия в температурных режимах. Большинство ЭГПА работают при средней температуре меди и стали не более 70–80 °С, но на отдельных агрегатах тем-

Таблица 3

### Основные среднесуточные параметры ЭГПА по компрессорным цехам (КЦ)

| Основные среднесуточные параметры работы агрегатов |                          |                          |                          |                          |
|----------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Температура                                        | а) ЭГПА 4<br>КЦ «Елец-2» | б) ЭГПА 3<br>КЦ «Елец-2» | в) ЭГПА 1<br>КЦ «Елец-1» | г) ЭГПА 6<br>КЦ «Елец-2» |
| Меди $t_m, ^\circ\text{C}$                         | 46,9                     | 52,9                     | 104,4                    | 89,2                     |
| Стали, $t_c, ^\circ\text{C}$                       | 51,0                     | 75,3                     | 75,3                     | 87,0                     |
| Горячего воздуха, $t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$   | 62,0                     | 65,0                     | 79,0                     | 76,0                     |
| Медь–сталь, $\Delta t_{m-c}, ^\circ\text{C}$       | 4,1                      | 22,4                     | 29,1                     | 2,2                      |
| Ток статора $I_{cm}, \text{A}$                     | 642                      | 621                      | 650                      | 618                      |

пература обмоток и сердечника СД увеличивалась до 100–120 °С. При торможении и останове ЭГПА происходит «тепловой удар» из-за ухудшения самовентиляции, и температура обмоток статора повышается еще на 10–15 °С с градиентом температуры между медью и сталью более 20 °С. Причинами таких температурных отклонений могут быть неисправности в системе охлаждения СД, снижение эффективности работы, дефекты сердечника статора, перевозбуждение СД или повышение напряжения питания выше 105 %.

Для определения максимальных отклонений в температуре статора при изменении режимов работы ЭГПА выполнены измерения температуры при пуске и останове, а также изменении потребляемой мощности при перестроении режима работы газопровода. Измерения выполнены с интервалом 2 часа, в течение 6 суток на КС «Починковская» и КС «Сеченовская». Анализ результатов измерений показал, что изменение температуры статора в летнее время связано с суточными колебаниями температуры охлаждающего воздуха. Зимой же перепады температуры наружного воздуха не оказывают влияния на изменение температуры СД, и его температура в основном зависит от количества ЭГПА, одновременно работающих в компрессорном цехе. При останове ЭГПА за короткий промежуток времени происходит рост температуры обмоток на 10–15 °С выше температуры, предшествующей отключению СД, и может превышать максимально допустимые значения для данного класса изоляции.

При двухсторонней системе вентиляции электродвигателя СТД-12500-2 наиболее нагретой частью обмотки статора должна являться средняя ее часть. Для проверки этого утверждения было выполнено снятие термограмм работающих СД.

На рис. 4 приведена термограмма и фотография статора работающего ЭГПА 7 КЦ «Ямбург – Западная граница» КС «Починковская». Из термограммы видно, что температура средней части статора на 23,2 °С выше наиболее холодной точки. Аналогичная картина наблюдается и на

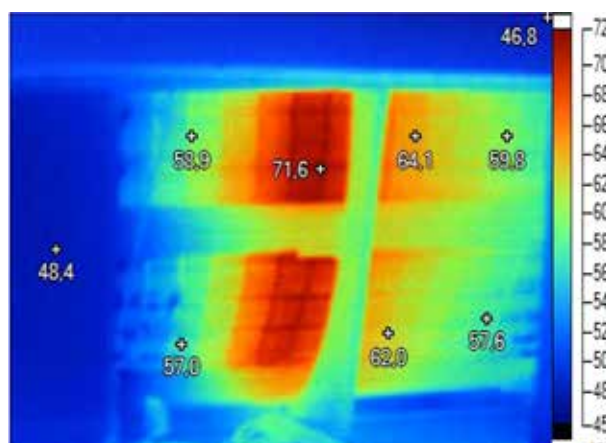


Рис. 4. Термограмма статора СД работающего ЭГПА 7 КЦ МГ «Ямбург – Западная граница»

других ЭГПА. Как уже было отмечено ранее, 86 % случаев пробоя изоляции приходится именно на пазовую часть обмотки примерно в середине длины стержня. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на пробой изоляции статоров СТД-12500-2 оказывает именно температура.

В соответствии с [1] номинальная мощность двигателя СТД 12500-2 определяется при номинальных значениях параметров, и при отклонении их от номинала изменяются допустимые режимы работы СД. В табл. 4 приведены соотношения допустимых параметров СД при изменении напряжения питания. Кроме этого, на режимы работы СД существенное влияние оказывает температура охлаждающего воздуха. В табл. 5 приведена зависимость максимальной полной мощности от температуры входящего в СД охлаждающего воздуха.

Анализ режимов работы СД ЭГПА, проведенный в соответствии со значениями допустимых параметров [1, 6, 8], показал, что во многих случаях двигатели работали с превышением допустимых значений полной мощности. Например, отмечено, что температура обмоток СД, получившего в дальнейшем пробой изоляции статора, даже в зимнее время увеличилась за 6 суток на 21 °С. Однако в соответствии с зафиксированными перед аварийным остановом ЭГПА значениями параметров

Таблица 4

**Предельные значения параметров СД  
при изменениях напряжения сети**

|                     |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| $U_{питания}^*$ %   | 110   | 105   | 100   | 95    |
| $S_{двигателя}^*$ % | 90    | 100   | 100   | 100   |
| $I_{статора}^*$ %   | 82    | 95,5  | 100   | 105   |
| $\cos\varphi$       | 0,985 | 0,945 | 0,900 | 0,870 |

Таблица 5

**Зависимость максимальной мощности СД  
от реальной температуры охлаждаемого воздуха**

|                                          |    |    |     |     |
|------------------------------------------|----|----|-----|-----|
| Температура входящего воздуха, °C        | 50 | 45 | 40  | 30  |
| Предельная мощность СД, % от номинальной | 87 | 95 | 100 | 106 |

этот СД работал с полной мощностью 12,9 МВА при напряжении питания 10,9 кВ и температурой входящего воздуха 73 °C. Вместе с тем по табл. 5 полная мощность данного СД при таких условиях не должна быть более 11,1 МВА.

**АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

На изоляцию любого электрооборудования, находящегося в эксплуатации, воздействуют длительное рабочее напряжение, кратковременные грозовые перенапряжения микросекундной дли-

тельности и внутреннее перенапряжение миллисекундного, секундного и даже минутного диапазона. Исходя из этого, проведен анализ изменения напряжения на электродвигателях ЭГПА в широком диапазоне. В связи с отсутствием за весь период наблюдений, статистических данных о повреждаемости электродвигателей при прохождении грозовых фронтов этот вид воздействия не рассматривался. На рис. 5 приведены результаты измерения линейных напряжений на секции шин закрытого РУ 10 кВ (ЗРУ-10 кВ) с интервалом 1 час в течение 82 часов.

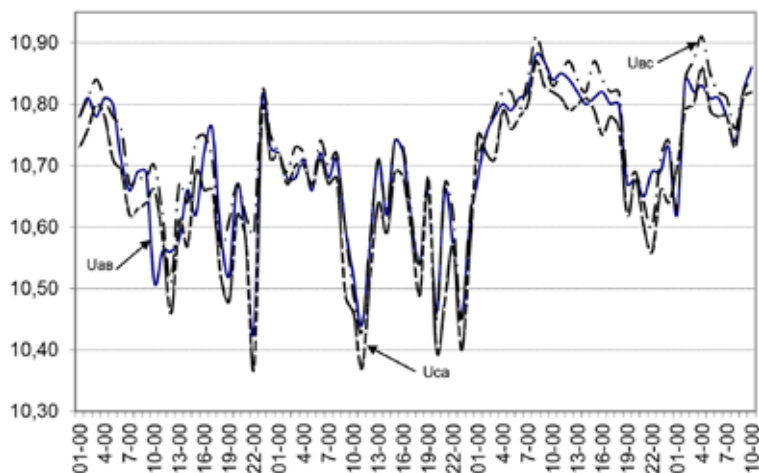


Рис. 5. График изменения линейных напряжений (кВ) в функции времени (час) на шинах ЗРУ-10кВ КС «Починковская» МГ «Ямбург-Елец-1» при одном работающем ЭГПА





Рис. 6. Проявления ЧР на поверхности изоляции в виде белого порошка (соли азотной кислоты) и выпучивание изоляции в пакетах сердечника статора

В связи с отсутствием на КС устройств регулирования напряжения 10 кВ, линейное напряжение на СД может колебаться в зависимости от режима работы как СД, так и питающей сети. Основным источником колебания напряжения является энергосистема, причем, ночью происходит рост напряжения на шинах ЗРУ-10 кВ, а днем – снижение. Поскольку СД являются регулируемым источником реактивной мощности, то они также оказывают влияние на уровень напряжения секций шин 10 кВ. Проведенные на КС опыты показывают, что при изменении  $\cos\varphi$  в диапазоне от 1 до 0,95 (емкостный) напряжение на секции шин с одним работающим ЭГПА при дневном минимуме увеличивается на 150–200 В.

Изменения напряжения питания СД при проведении измерений (рис. 5) составили 10,37–10,91 кВ. В интервале наблюдения напряжение удовлетворяет требованиям Правил технической эксплуатации, однако при этих значениях необходимо контролировать полную мощность СД и температуру обмоток статора. Повышение напряжения питания сверх 110 % от номинального недопустимо, т. к. иначе, вследствие насыщения стали, даже незначительный подъем напряжения выше допустимого приводит к возрастанию магнитной индукции, резкому увеличению потоков рассеяния и появле-

нию в ребрах корпуса СД и в других конструктивных элементах больших паразитных токов, вызывающих дополнительный нагрев. При снижении же напряжения ниже 10 кВ увеличивается ток статора и возрастает нагрев обмоток.

### ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ В ИЗОЛЯЦИИ

Одним из существенных факторов ускоренного разрушения изоляции высоковольтных ЭГПА под воздействием электрических полей является возникновение частичных разрядов (ЧР) во внутренних полостях и по поверхности изоляции СД (рис. 7). В соответствии с [1] проведен контроль высоковольтной изоляции обмотки статоров более 80 ЭГПА с использованием метода измерения ЧР при подаче переменного напряжения от независимого источника. Метод позволяет выявлять наличие скрытых дефектов во внутренних полостях изоляции, критические ЧР в пазовой части изоляции и скользящие разряды в лобовых частях обмотки.

По результатам диагностики установлено, что практически все СД имеют ЧР различной интенсивности и амплитуды. На некоторых ЭГПА наблюдаются следы активности ЧР в лобовых частях обмотки в виде налета белого порошка соедине-

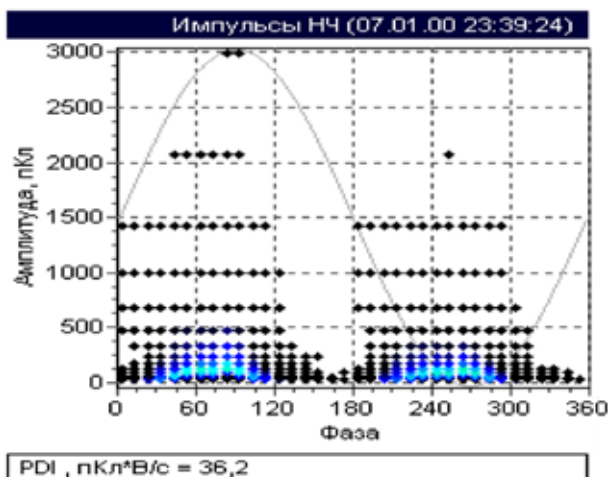


Рис. 7. Диаграмма фазового распределения ЧР ЭГПА7 КЦ МГ «Ямбург-Елец-1». Наличие ЧР большой амплитуды и интенсивности доказывает дефект изоляции в пазовой части обмотки

ний азота. На рис. 6 приведена типичная амплитудно-фазовая диаграмма распределения ЧР фазы «С» обмотки статора ЭГПА-7 КС «Починковская», полученная при измерении штатным прибором контроля ЧР в изоляции типа R-400.

На диаграмме зафиксировано большое число ЧР низкой амплитуды в диапазоне 0–360°С, возникающих до

достижения максимума амплитуды испытательного напряжения на обмотке, что свидетельствует о сильном загрязнении лобовых частей обмотки масляно-графитовой смесью. ЧР имеют большую амплитуду (до 3000 пКл) и интенсивность 36,2 PDI (пКл·В/с). Следовательно, в этом случае обмотка СД имеет дефекты в пазовой части изоляции, и в ближайшей перспективе возможен ее пробой.

### ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ ПРИ КОММУТАЦИЯХ И РЕЖИМНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Наибольшие уровни перенапряжений на изоляции СД могут возникать при грозовых перенапряжениях, дуговых однофазных замыканиях на землю в сети с изолированной нейтралью, включении СД при пуске, отключении СД в нормальных и аварийных режимах. В результате анализа схем электроснабжения и теоретических расчетов [5, 9, 10] определены параметры перенапряжений, возникающих в различных переходных режимах работы ЭГПА КС «Сеченовская». На рис. 8 приведены результаты моделирования

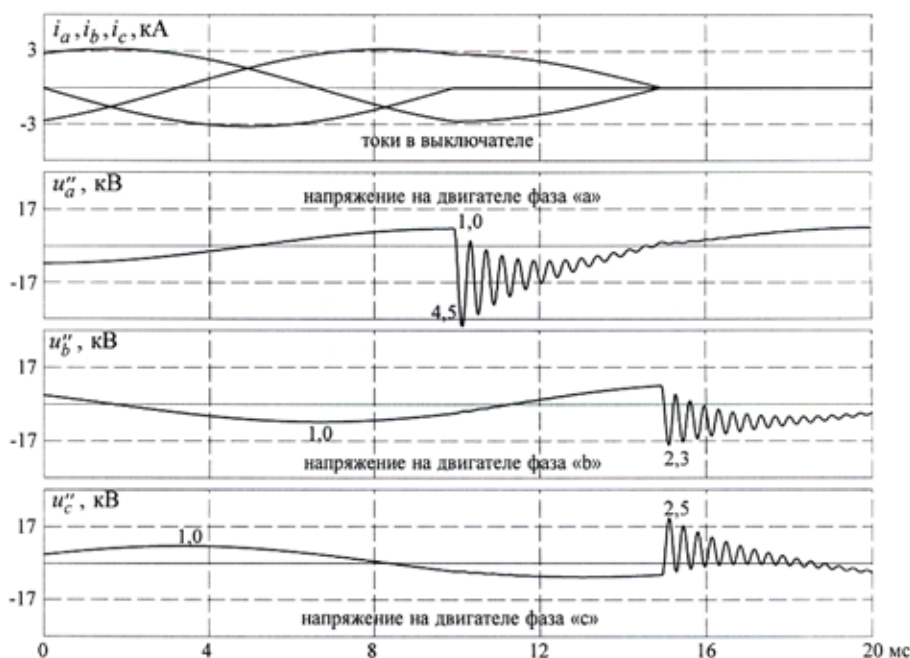


Рис. 8. Моделирование процесса отключения выпавшего из синхронизма СД-12500

переходного процесса при отключении выпавшего из синхронизма электродвигателя СТД-12500 с возникновения перенапряжений, имеющих наибольшую кратность. Момент отключения соответствует противофазному положению напряжения на шинах и внутренней ЭДС. При этом отключение первой фазы вызывает перенапряжение кратностью 4,5 о.е., а второй и третьей – до 2,3–2,5 о.е. То есть при отключениях выпавших из синхронизма СД возможны перенапряжения в статорных обмотках высокой кратности. Осциллограммы получены с помощью ПО NRAST [6, 11–13].

Приведенные расчетные случаи возникновения перенапряжений в обмотках статора СД соответствуют условиям, существующим в сетях 10 кВ Сеченовского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», и хорошо согласуются с имеющейся экспериментальной базой данных. При этом полученный анализ подтвердил вероятность выхода из строя сразу двух электродвигателей 10 кВ с повреждением разноименных фаз.

### АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В процессе эксплуатации на изоляцию обмотки статора действуют механические нагрузки различного происхождения: электродинамические, вибрационные и термомеханические в стационарных и переходных режимах.

В установившихся режимах работы витковая и корпусная изоляция обмоток подвергается действию относительно незначительных электродинамических усилий [4, 14, 15]. Удельное усилие на единицу длины стержня, находящегося в пазу, определяется по формуле:

$$P = 6,3 \cdot 10^{-3} \frac{I^2}{b_n}, \text{ Н/м}^2, \quad (2)$$

где  $P$  – усилие на 1 м длины проводника, Н;  
 $b_n$  – ширина паза, м;  
 $I$  – мгновенное значение силы тока в стержне, А.

Предельные значения удельных амплитудных электродинамических давлений по (2) не превышают 103 Н/м<sup>2</sup>. Значительно более высоких значений достигают усилия, действующие на обмотку в переходных режимах, и, в частности при реакторном пуске электродвигателя. С учетом проведенных замеров пусковых токов это значение на изоляцию у дна паза составляет 25 кН/м<sup>2</sup>. Наряду с усилиями, действующими на стержни обмотки в радиальном направлении и вызывающими их спрессовку, в пазовой части действуют также тангенциальные пульсирующие усилия, прижимающие стержни к стенке паза. Величина этих усилий может быть подсчитана по формуле:

$$P = 1,02 \cdot H \cdot J \cdot 10^{-4}, \text{ Н/м}^2, \quad (3)$$

где  $H$  – радиальная магнитная индукция в пазу, Гс.

Для электродвигателей СТД-12500-2, рассчитанная по (3) величина радиального удельного усилия на 1 м длины стержня, не превышает 0,15 Н.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам проведенного в статье анализа статистических данных можно констатировать следующее.

1. Средняя аварийность электродвигателей ЭГПА из-за повреждений обмоток статора составляет в среднем по КС 2,7 ед./год. На электроприводных КС отсутствуют системы контроля, позволяющие обслуживающему персоналу проводить сбор, обработку и комплексный оперативный анализ работы приводных электродвигателей.

2. В процессе эксплуатации приводные электродвигатели ЭГПА периодически работают с превышением допустимых параметров, что приводит к ускоренному старению изоляции и выходу из строя статоров. Повышение надежности СД осуществляется по направлениям:

- улучшение эффективности систем охлаждения всех агрегатов ЭГПА, особенно летом;

- поддержание заданного напряжения на секциях шин 10 кВ с использованием РПН питающих трансформаторов и перевода APB систем возбуждения СД на регулирование по питающему напряжению;
- внедрение мероприятий по ограничению коммутационных перенапряжений изоляции СД;
- внедрение систем частотного пуска СД ЭГПА.

3. Для увеличения ресурса электродвигателей ЭГПА, повышения их энергоэффективности и снижения затрат на ремонтные работы необходима разработка и внедрение систем оперативной параметрической диагностики и прогнозирования технического состояния приводных электродвигателей. Для этого необходимо:

- формализовать процессы старения изоляции статорной обмотки СД в соответствии с рассмотренными эксплуатационными факторами для получения автоматизированных баз данных;
- разработать рациональную структуру, аппаратные средства и алгоритмы оперативного прогнозирования технического состояния приводных электродвигателей ЭГПА.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Пужайло А.Ф.** и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций / Под ред. О.В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС, 2010. – 570 с.
2. **Крюков О.В., Степанов С.Е.** Модернизация систем управления ЭГПА в условиях действующих компрессорных станций // В сб.: Проблемы автоматизации и управления в технических системах. МНТК / под ред. М.А. Щербакова, 2013. – С. 29–32.
3. **Kryukov O.V., Blagodarov D.A., Dulnev N.N., Safonov Y.M., Fedortsov N.N., Kostin A.A.** Intelligent control of electric machine drive systems // В сб.: 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018. – Conference Proceedings 10. – 2018. – P. 8571670.
4. **Крюков О.В.** Комплексный анализ условий эксплуатации ЭГПА // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 4. – С. 14–19.
5. **Крюков О.В., Степанов С.Е., Серебряков А.В.** Современный подход к организации ремонта по данным прогноза технического состояния и ресурса электрооборудования // Газовая промышленность. – 2017. – № 8 (756). – С. 84–89.
6. **Репин Д.Г., Крюков О.В.** Концепты системы мониторинга технического состояния компрессорных станций // Контроль. Диагностика. – 2017. – № 12. – С. 30–35.
7. **Крюков О.В., Степанов С.Е., Серебряков А.В.** Современный подход к организации ремонта по данным прогноза технического состояния и ресурса электрооборудования // Газовая промышленность. – 2017. – № 8 (756). – С. 84–89.
8. **Воеков В.Н., Мещеряков В.Н., Крюков О.В.** Вентильный электропривод для погружных нефтяных насосов с импульсным повышающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока ПЧ и релейным управлением инвертором напряжения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2020. – Т. 20. – № 2. – С. 110–119.
9. **Крюков О.В.** Регулирование производительности электроприводных газоперекачивающих агрегатов преобразователями частоты // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 3. – С. 21–26.
10. **Васенин А.Б., Крюков О.В.** Энергоэффективные и экологичные установки воздушного охлаждения // В сб.: Великие реки' 2017. Труды научного конгресса XIX МНПФ. НГАСУ, 2017. – С. 93–96.
11. **Кононенко А.Б., Косоротов А.А., Крюков О.В.** Расширение функциональных возможностей автоматизации и мониторинга распределительных устройств КТП «Каскад» // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2020. – № 12. – С. 26–31.
12. **Груздев В.В., Волков А.С., Крюков О.В.** Методологический подход к прогнозированию технического состояния трансформаторов распределительных устройств // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2021. – № 1 (138). – С. 14–19.
13. **Belousov A.S., Meshcheryakov V.N., Valtchev S., Kryukov O.V.** Development of a control algorithm for three-phase inverter in two-phase electric drives reducing the number of commutations // В сб.: Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation



and Energy Efficiency, SUMMA 2019. – 2019. – P. 444–449.

14. **Крюков О.В., Мещеряков В.Н., Гуляев И.В.** Электроприводы на основе машины двойного питания и асинхронного вентильного каскада с преобразователями в цепях статора и ротора. – Саранск, 2020.

15. **Крюков О.В., Серебряков А.В.** Активно-адаптивные алгоритмы управления и мониторинга автономными энергетическими комплексами // В сб.: Пром-Инжиниринг. Труды II МНТК. ЮУрГУ. 2016. – С. 286–290.

16. Реализованные проекты ООО «ТСН-электро». – Режим доступа: <https://www.tcn-pn.ru/>

17. **Крюков О.В., Степанов С.Е.** Новые конструкции электроприводных ГПА // В сб.: Труды XVII Международной конференции «Электромеханика, Электротехнологии, Электротехнические материалы и компоненты». – М.: МЭИ (ТУ), 2018. – С. 177–180.

18. **Крюков О.В.** Моделирование и микропроцессорная реализация электромеханических систем // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – № 3. – С. 55–61.

19. **Мещеряков В.Н., Ласточкин Д.В., Крюков О.В.** Приложения теории нечетких множеств для обработки данных и задач прогнозирования в системах АЭП // В сб.: Современные сложные системы управления. Материалы XII МНПК. – 2017. – С. 153–158.

20. **Крюков О.В.** Алгоритмы быстрого преобразования Уолша в микропроцессорных системах управления электроприводом // Известия вузов. Электромеханика. – 2005. – № 4. – С. 39–44.

21. **Воронков В.И., Рубцова И.Е., Крюков О.В.** Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей МГ // Газовая промышленность. – 2010. – № 3. – С. 32–37.

22. **Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.** Методология и средства оперативного мониторинга электродвигателей на КС //

Контроль. Диагностика. – 2019. – № 11. – С. 52–58.

23. **Kryukov O.V., Gulyaev I.V., Teplukhov D.Y.** Method for stabilizing the operation of synchronous machines using a virtual load sensor // Russian Electrical Engineering. – 2019. – Vol. 90. – N 7. – Pp. 473–478.

24. **Крюков О.В., Серебряков А.В.** Экологические направления электроснабжения и задачи энергосбережения при реконструкции объектов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2015. – № 8. – С. 23–33.

25. **Kryukov O.V., Serebryakov A.V.** Energy efficient power supply systems of oil and gas pipelines electric drives // Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering. – 2017. – Vol. 17. – N 3. – P. 102–110.

26. **Крюков О.В.** Прогнозирование теплового режима двигателей СТД-12500 методом спектрального анализа // В сб.: Актуальные проблемы электроэнергетики. Сб. научно-технических статей XXXII региональной НТК. – Н. Новгород, 2013. – С. 140–146.

27. **Крюков О.В.** Коммуникационная среда передачи данных сети ETHERNET на полевом уровне различных объектов // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 12. – С. 26–30.

28. **Крюков О.В.** Комплексный анализ условий эксплуатации электродвигателей ГПА // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 4. – С. 14–19.

29. **Ziuzev A., Metelkov V., Kryukov O.** Analysis and simulation of thermodynamic processes in high-powered AC electric motors // В сб.: 2020 11th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2020. – Proceedings. 11. – 2020. – P. 9249327.

30. **Valtchev S., Kryukov O.V., Meshcheryakov V.N., Belousov A.S.** Comparative analysis of electric drives control systems applied to two-phase induction motors // В сб.: Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020. 2. – 2020. – P. 918–922.

**Для оформления подписки через редакцию  
пришлите заявку в произвольной форме  
по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru)  
или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22  
(многоканальный).**

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ НА РАВНИННОМ УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Аблялимов О. С.**, канд. техн. наук, профессор, кафедра локомотивов  
и локомотивного хозяйства, ст. научный сотрудник

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com,

Ташкентский государственный транспортный университет  
им. И. Каримова, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Представлены результаты исследований по обоснованию энергетических показателей перевозочной работы локомотивов электрической тяги без остановок и с остановками на виртуальном равнинном участке железной дороги. Для реализации поставленной цели исследований были выполнены тяговые расчеты, опираясь на разработанные математические модели ведения грузовых поездов одним из локомотивов электрической тяги, основу которых составило известное дифференциальное уравнение движения поезда, решение которого осуществлялось графическим методом. Результаты исследований получены в виде табличных данных, графических зависимостей и уравнений регрессий, предназначенных для определения основных показателей перевозочной работы локомотивов электрической тяги на виртуальных и идентичным им реальных равнинных участках железной дороги, и рекомендуются для внедрения в практику работы специалистов локомотивного комплекса узбекских железных дорог.

**Ключевые слова:** исследование, результат, грузовой поезд, электровоз, железнодорожный путь, параметр, разъезд, анализ, станция, время, скорость, равнинный, виртуальный.

## ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING ELECTRIC TRACTION LOCOMOTIVES ON A FLAT SECTION OF THE RAILWAY

**Ablyalimov O. S.**, PhD of technical sciences, professor, department locomotives  
and locomotive economy, senior researcher,

Tashkent State Transport University, Tashkent, Republic of Uzbekistan

The results of research on the justification of the energy indicators of the transportation operation of electric traction locomotives without stops and with stops on a virtual flat section of the railway are presented. To achieve the set research goal, traction calculations were performed, based on the developed mathematical models of driving freight trains by one of the electric traction locomotives, the basis of which

*was the well-known differential equation of train movement, the solution of which was carried out by the graphical method. The research results are obtained in the form of tabular data, graphical dependencies and regression equations designed to determine the main indicators of the transportation work of electric traction locomotives on virtual and, identical to them, real flat sections of the railway and are recommended for implementation in the practice of the work of specialists of the locomotive complex of Uzbek railways.*

**Keywords:** *research, result, freight train, electric locomotive, railway track, parameter, siding, analysis, station, time, speed, flat, virtual.*

В настоящее время обеспечение эффективной работы железнодорожного транспорта во многом определяется качественным уровнем обновления и эксплуатации парков подвижного состава, модернизации и усиления инфраструктуры сопутствующей организации перевозочного процесса с учетом совершенствования системы регулирования и управления таковым, а также развития технической базы ремонтного производства всех видов (типов) транспортных средств.

Для реализации сказанного и проведения технически грамотной и корректной политики в локомотивном комплексе железнодорожной отрасли необходимо проведение научных исследований по нормативно-методологической базе, направленной на обоснование параметров основных показателей эксплуатационной готовности, надежности, безопасности и ресурса тягового подвижного состава с учетом инфраструктуры железнодорожного транспорта, связанной с организацией перевозочного процесса.

Достаточно отметить, что повышение пропускной и провозной способности электрических железных дорог, в т. ч. узбекских, можно обеспечить посредством увеличения перевозимого объема грузов и количества пассажиров, а также путем внедрения в практику работы железных дорог перспективных ресурсосберегающих технологий по реализации грузовых и пассажирских перевозок.

Поэтому разработка и использование оптимальных режимов управления тяговым электрическим подвижным составом

при реализации железнодорожных перевозок грузов с соблюдением безопасности движения поездов и экономного расходования энергетических ресурсов на тягу поездов только усилит эксплуатационную деятельность и мощность электрифицированных участков железных дорог.

В этой связи, теоретические и экспериментальные исследования, которые проводятся на кафедре «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ТГТУ, направлены на обоснование параметров основных показателей движения грузовых поездов, перевозочной работы и эффективности использования магистральных грузовых локомотивов электрической тяги в разнообразных условиях эксплуатации.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ научно-исследовательских работ зарубежных ученых, часть из которых обозначена в [1–6 и др.], посвящается исследованиям по совершенствованию конструкции локомотивов электрической тяги [1, 2], передовым технологиям ремонтного производства, эксплуатации и технического обслуживания [3], ресурсосбережения [4] и систем тягового электроснабжения [5, 6] магистральных железных дорог.

Результаты исследований авторов [1–6], несомненно, имеют значимый научный интерес и определенную практическую ценность, однако эти работы совсем не затрагивают вопросы обоснования кине-

матических параметров основных энергетических показателей перевозочной работы и эффективности использования магистральных локомотивов электрической тяги в реальных условиях организации грузового движения на участках узбекских железных дорог.

В первую очередь, сказанное касается реализации железнодорожных перевозок разных по типу, виду, содержанию и структуре грузов на различных по категории сложности и трудности участках железных дорог, каждая из которых характеризуется определенным типом железнодорожного профиля пути. В зависимости от сочетания элементов профиля пути с неодинаковой крутизной уклонов и протяженностью, а также последовательностью их расположения различают четыре типа профиля пути [7] – равнинный, холмистый, холмисто-горный и горный, тяговые качества (свойства) которых, очевидно, будут оказывать весьма существенное и значимое влияние на эффективность перевозочного процесса для любого вида тяги.

Целью данного исследования является теоретическое обоснование параметров основных энергетических показателей эффективности использования магистральных (поездных) грузовых электровозов серии ВЛ80<sup>с</sup> на виртуальном равнинном участке железной дороги, опираясь на разные организационные и технические условия эксплуатации, аналогичные реальным.

Настоящие исследования являются логическим продолжением работ [8–10], и поэтому основу разработанного алгоритма реализации сформулированной выше цели исследований составили методы и способы [11, 12] теории локомотивной тяги, исходные данные [8, 13] о материально-технологических условиях организации перевозочной работы грузовых локомотивов на спрямленном профиле пути исследуемого участка железной дороги, объект и предмет исследований.

Объект исследования – грузовые поезда с различной массой и одинаковым числом осей состава, трехсекционные ма-

гистральные (поездные) грузовые электровозы серии ЗВЛ80<sup>с</sup> и спрямленный профиль пути виртуального равнинного участка железной дороги.

Предмет исследования составляют параметры основных энергетических показателей эффективности использования исследуемых электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> в количественном и денежном исчислении на заданном виртуальном участке железной дороги.

Энергетические и эксплуатационные показатели исследуемого грузового электровоза ЗВЛ80<sup>с</sup> с учетом конструктивных особенностей подробно освещены в [14, 15], а характеристика спрямленного профиля пути виртуального равнинного участка железной дороги приведена в [8, 9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Параметры энергетических показателей эффективности использования трехсекционных магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> на виртуальном равнинном участке железной дороги при движении без остановок и с остановками на промежуточной станции в зависимости от различных условий организации перевозочной работы локомотивов в количественном и денежном исчислении приведены в табл. 1. Индексом (знаком) звездочка \* обозначены затраты денежных средств (стоимость электрической энергии) с учетом налога на добавленную стоимость (НДС).

Динамика усредненных значений кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров энергетических показателей перевозочной работы исследуемых грузовых электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> в зависимости от массы состава грузового поезда для двух (обоих) видов железнодорожных перевозок грузов показана, соответственно, на рис. 1 и 2. Упомянутые усредненные значения были определены (вычислены) в принятом нами диапазоне изменения массы составов (от  $Q_1 = 2500$  т до



Таблица 1

**Показатели перевозочной работы электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup>  
на равнинном участке железнодорожного пути**

| Условия перевозочной работы   |                   |                                   | Расход электроэнергии |                             | Стоимость электрической энергии |                                   |                                   |                                        |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| масса состава Q, т            | число осей m, оси | скорость движения поезда, V, км/ч | полный A, кВт·ч       | удельный a, Вт·ч/ткм брутто | полная C <sub>э</sub> , с/ум    | полная C <sub>э</sub> с НДС, с/ум | удельная c <sub>э</sub> , с/ум/км | удельная c <sub>э</sub> с НДС, с/ум/км |
| 1                             | 2                 | 3                                 | 4                     | 5                           | 6                               | 7                                 | 8                                 | 9                                      |
| <b>Движение без остановок</b> |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| Перегон А – В                 |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| 2500                          | 200               | 86,68                             | 1681,35               | 25,72                       | 146 345                         | 175 533*                          | 5596,4                            | 6712,5*                                |
| 3000                          | 200               | 86,45                             | 1779,59               | 22,68                       | 154 895                         | 185 789*                          | 5923,3                            | 7104,7*                                |
| 3500                          | 200               | 85,48                             | 1954,53               | 21,35                       | 170 122                         | 204 053*                          | 6505,6                            | 7803,2*                                |
| Перегон В – С                 |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| 2500                          | 200               | 96,16                             | 481,97                | 10,74                       | 41 951                          | 50 318*                           | 2337,1                            | 2803,2*                                |
| 3000                          | 200               | 94,89                             | 482,08                | 8,95                        | 41 960                          | 50 329*                           | 2337,6                            | 2803,8*                                |
| 3500                          | 200               | 95,31                             | 538,80                | 8,58                        | 46 897                          | 56 251*                           | 2612,6                            | 3133,7*                                |
| Участок А – С                 |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| 2500                          | 200               | 90,31                             | 2163,32               | 19,62                       | 188 295                         | 225 850*                          | 4269,7                            | 5121,3*                                |
| 3000                          | 200               | 89,70                             | 2261,67               | 17,09                       | 196 856                         | 236 118*                          | 4463,8                            | 5354,1*                                |
| 3500                          | 200               | 88,50                             | 2493,33               | 16,50                       | 217 019                         | 260 304*                          | 4921,1                            | 5902,6*                                |
| <b>Движение с остановками</b> |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| Перегон А – В                 |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| 2500                          | 200               | 80,46                             | 1628,52               | 24,91                       | 141 746                         | 170 017*                          | 5420,5                            | 6501,6*                                |
| 3000                          | 200               | 78,45                             | 1705,69               | 21,74                       | 148 463                         | 178 074*                          | 5677,4                            | 6809,7*                                |
| 3500                          | 200               | 76,54                             | 1903,63               | 20,80                       | 165 692                         | 198 739*                          | 6336,2                            | 7600,0*                                |
| Перегон В – С                 |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| 2500                          | 200               | 73,77                             | 772,99                | 17,22                       | 67 281                          | 80 700*                           | 3748,2                            | 4495,8*                                |
| 3000                          | 200               | 75,31                             | 896,81                | 16,65                       | 78 058                          | 93 627*                           | 4348,6                            | 5216,0*                                |
| 3500                          | 200               | 73,26                             | 903,5                 | 14,38                       | 78 641                          | 94 325*                           | 4381,1                            | 5254,9*                                |
| Участок А – С                 |                   |                                   |                       |                             |                                 |                                   |                                   |                                        |
| 2500                          | 200               | 77,60                             | 2401,51               | 21,78                       | 209 027                         | 250 718*                          | 4739,8                            | 5685,2*                                |
| 3000                          | 200               | 77,14                             | 2602,50               | 19,67                       | 226 522                         | 271 701*                          | 5129,7                            | 6161,0*                                |
| 3500                          | 200               | 75,17                             | 2807,13               | 18,19                       | 244 322                         | 293 064*                          | 5540,2                            | 6645,4*                                |

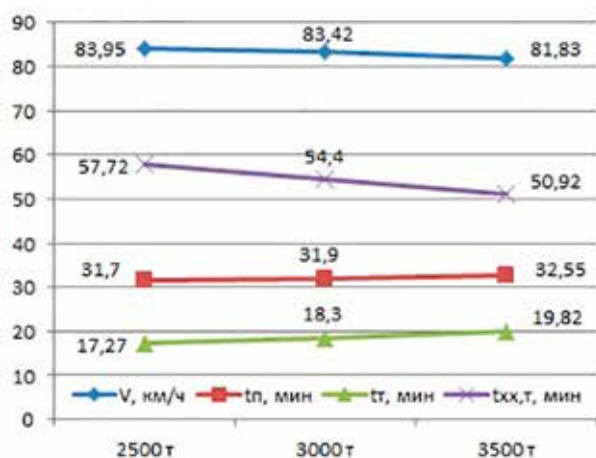


Рис. 1. Усредненные кинематические параметры движения грузового поезда на равнинном участке железной дороги

$Q_3 = 3500$  т) грузового поезда по двум видам движения как величины среднеарифметические.

Оценку и анализ количественной и качественной составляющих эффективности использования трехсекционных магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80<sup>С</sup> в процессе реализации ими железнодорожных перевозок разнообразных по видам и типам грузов на заданном, виртуальном, равнинном участке железной дороги проводили сопоставлением между собой значений вышеупомянутых параметров с аналогичными значениями графического (унифицированного) грузового поезда.

Анализ результата тягового расчета [10] и данных табл. 1 относительно графического грузового поезда с унифицированной массой состава  $Q_2 = 3000$  т и постоянным количеством  $m = 200$  осей в составе показывает следующее (в скобках приведены значения для условий движения с остановками на промежуточной станции).

1. Усредненное общее время хода поезда составляет 0,492 ч (0,572 ч), уменьшение массы состава на  $\Delta Q = 500$  т приводит к уменьшению общего времени хода поезда на 0,68 (0,58) %, а с увеличением массы состава на  $\Delta Q = 500$  т происходит увеличение этого времени на 1,35 (2,62) %.

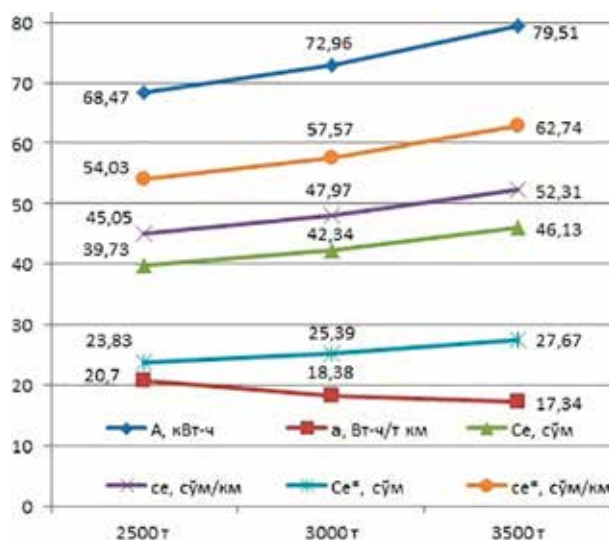


Рис. 2. Усредненные параметры энергетической эффективности электровозов ЗВЛ80<sup>С</sup> на равнинном участке железной дороги

2. Техническая скорость движения поезда при аналогичном изменении массы состава имеет тенденцию к повышению и снижению в тех же пределах, причем, в среднем, она равна 89,50 (76,64) км/ч.

3. Усредненное время хода поезда на разгон-замедление составляет 0,0283 ч, уменьшение массы состава на  $\Delta Q = 500$  т приводит к уменьшению времени на замедление на 1,76 %, а время на разгон остается без изменения и с увеличением массы состава на  $\Delta Q = 500$  т время хода поезда на разгон – замедление увеличивается на 8,82 %.

4. Полный и удельный средние расходы электрической энергии на тягу поездов составляют, соответственно, 2306,11 (2603,71) и 17,74 (19,88) Вт·ч/т км. Полная и удельные средние стоимости электрической энергии соответствуют, соответственно, 200 723 (226 684) и 4551,5 (5136,6) с/м – без учета НДС и 240 757 (271 828) и 5459,3 (6164,9) с/м – с учетом НДС.

5. Увеличение массы состава на  $\Delta Q = 500$  т способствует увеличению полного расхода электроэнергии на 10,24 (7,86) %, однако, удельный расход электроэнергии при этом уменьшается на 3,45 (7,52) %, а уменьшение массы состава на  $\Delta Q = 500$  т обеспечивает уменьшение

полного и увеличение удельного расхода электроэнергии, соответственно, на 4,35 (7,72) и 14,80 (10,73) %.

6. Уменьшение массы состава на  $\Delta Q = 500$  т приводит к снижению полной и удельной стоимости в среднем на 4,35 (7,72) %, а с увеличением массы состава на  $\Delta Q = 500$  т происходит повышение этих показателей в среднем на 10,24 (7,86) %.

7. Уменьшение массы состава на  $\Delta Q = 500$  т приводит к снижению и увеличению показателей использования режимов тяги [7, 15], а также холостого хода и торможения [15, 17], соответственно, на 2,67 (3,05) %, а с увеличением массы состава на  $\Delta Q = 500$  т, наоборот, происходит повышение и снижение этих показателей на 5,57 (1,83) %.

8. Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также в режиме тяги колеблется, соответственно, от 0,245 ч (0,266 ч) до 0,178 ч (0,246 ч) и от 0,273 ч (0,302 ч) до 0,32 ч (0,341 ч). При увеличении массы состава на  $\Delta Q = 500$  т происходит уменьшение времени хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также его увеличение в режиме тяги, соответственно, на 0,025 ч (0,004 ч) и 0,032 ч (0,019 ч). Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения увеличивается, а в режиме тяги уменьшается, соответственно, на 0,015 ч (0,016 ч) и 0,015 ч (0,019 ч) с уменьшением на  $\Delta Q = 500$  т массы состава.

Посредством стандартной программы серии Microsoft Office Excel были построены (получены) уравнения регрессии (аналитические выражения) для определения параметров основных показателей перевозочной работы электровазозов ЗВЛ80<sup>с</sup> на виртуальном равнинном участке железной дороги, позволяющие организовать вычисление значений для любой  $i$ -й массы  $Q$  грузового поезда (в скобках – условия движения с остановкой на промежуточной станции). В формулах (1)–(10) обозначено:  $R^2 = 1,0$  – достаточная величина достоверности аппроксимации (необходимое условие достоверности –  $R^2 \geq 0,8$ ), а знаки (индексы) звездочка \* –

для движения с остановками на промежуточной станции и две звездочки \*\* – с учетом налога на добавленную стоимость (НДС), а величина  $Q_i = 1, 2, 3$  – есть фактор (показатель) варианта тягового расчета.

Техническая скорость движения поезда  $V_m$ , км/ч:

$$V_m = -0,295Q^2 + 0,275Q + 90,33V_m^* = -0,755Q^2 + 1,805Q + 76,55R^2 = 1,0. \quad (1)$$

Общее время хода поезда  $t_x$ , мин.:

$$t_x = 0,1Q^2 - 0,1Q + 29,3/t_x^* = 0,35Q^2 - 0,85Q + 34,6R^2 = 1,0. \quad (2)$$

Время хода поезда на режиме тяги  $t_m$ , мин.:

$$t_m = 0,5Q^2 - 0,6Q + 16,5/t_m^* = 1,15Q^2 + 17,0R^2 = 1,0. \quad (3)$$

Время хода поезда на режимах холостого хода и торможения  $t_{xx,m}$ , мин.:

$$t_{xx,m} = -0,4Q^2 + 0,5Q + 12,8/t_{xx,m}^* = 0,35Q^2 - 2Q + 17,6R^2 = 1,0. \quad (4)$$

Полный расход электроэнергии за поездку  $A$ , кВт·ч:

$$A = 66,655,6Q^2 - 101,62Q + 2198,3A^* = 1,82Q^2 + 195,53Q + 2204,2R^2 = 1,0. \quad (5)$$

Удельный расход электроэнергии за поездку  $a$ , Вт·ч/ткм брутто:

$$a = 0,97Q^2 - 5,44Q + 24,09/a^* = 0,315Q^2 - 3,055Q + 24,52R^2 = 1,0. \quad (6)$$

Полные денежные затраты  $C_3$ , с\м

$$C_3 = 5801Q^2 - 8842Q + 191336/C_3^* = 152,5Q^2 + 17038Q + 191837R^2 = 1,0. \quad (7)$$

Полные денежные затраты  $C_3^{**}$  с учетом НДС, с\м/км:

$$C_3^{**} = 6959Q^2 - 10609Q + 229500/C_3^{**} = 190Q^2 + 20413Q + 230115R^2 = 1,0. \quad (8)$$

Приведенные денежные затраты  $c_3$ , с/м/км:

$$c_3 = 131,6Q^2 - 200,7Q + 4338,8/c_3^* = 10,3Q^2 + 359Q + 4370,5 \quad R^2 = 1,0. \quad (9)$$

Приведенные денежные затраты  $c_3^{**}$  с учетом НДС, с/м/км:

$$c_3^{**} = 157,85Q^2 - 240,75Q + 5204,3/c_3^{**} = 4,3Q^2 + 462,9Q + 5218^{**} \quad R^2 = 1,0. \quad (10)$$

Из анализа приведенных уравнений регрессий следует, что динамика упомянутых параметров в зависимости от изменения массы состава грузового поезда описывается полиномом второй степени за исключением времени хода поезда в режиме тяги с остановкой на промежуточной станции (линейная зависимость) со 100%-ной точностью их вычисления.

В процессе проведенных исследований были изучены разнообразные условия организации движения грузовых поездов, получены уравнения регрессии и обоснованы численные значения параметров основных показателей перевозочной работы и эффективности использования электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> на заданном виртуальном равнинном участке железной дороги, анализ результатов которых показывает следующее:

- при организации железнодорожных перевозок разных по структуре, типу, виду и содержанию грузов равномерное движение грузового поезда является исключительно доминирующим, а замедленное и ускоренное виды движения, т. е. движение с изменяющейся и непостоянной скоростью, встречаются (присутствуют) только в случаях торможения (остановки), трогания с места и разгоне;
- расход электрической энергии, затрачиваемой на перемещение грузовых поездов электровозами ЗВЛ80<sup>с</sup>, напрямую зависит от времени работы силовых энергетических систем (установок) под током, т. е. в режиме

тяги, уменьшение которого приведет к уменьшению механической работы упомянутых электровозов, а как следствие, обеспечит снижение потребления (расхода) электрической энергии;

- величина (количество) расхода электрической энергии, затраченная на замедление-разгон, при каждой остановке грузового поезда на промежуточной станции или раздельном пункте колеблется от 119,1 ( $Q_1 = 2500$  т) до 156,9 кВт·ч/ост ( $Q_3 = 3500$  т), а в среднем она составляет 148,8 кВт·ч/ост;
- увеличение объема перевозочной работы электровозами ЗВЛ80<sup>с</sup> способствует повышению эффективности использования этих электровозов в условиях эксплуатации независимо от вида движения грузовых поездов.

В результате проведенных нами исследований были обоснованы кинематические параметры движения грузовых поездов и параметры энергетических показателей эффективности электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> в виде табличных данных и графических зависимостей, и получены уравнения регрессии для определения основных показателей перевозочной работы исследуемых локомотивов электрической тяги на виртуальных и идентичным им реальных равнинных участках железной дороги.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученный результат исследований достаточно адекватно и хорошо согласуются с исследованиями [7–10, 13, 15, 18 и др.], и в этой связи может быть реализован в практике работы локомотивных депо узбекских железных дорог при оценке эффективности тяговых и энергетических характеристик исследуемых локомотивов электрической тяги в реальных условиях организации эксплуатации их на равнинных участках.

Результаты исследования рекомендуются для внедрения в практику работы специалистов локомотивного комплек-



са узбекских железных дорог, производственная и профессиональная деятельность которых напрямую сопряжена с энергетикой электрических железных дорог, движения грузовых поездов и реализацией железнодорожных перевозок различных по структуре и содержанию грузов локомотивами электрической тяги на участках железных дорог с равнинным профилем пути.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алексеева Т.Л.** Модернизация тягового электропривода электровозов [Текст] / Т.Л. Алексеева, Н.Л. Рябченко, Л.А. Астраханцев, Н.Л. Михальчук // Сборник материалов VI Международной научно-технической конференции «Локомотивы. XXI век» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб., 2018. – Т. 2. – С. 44–50.
2. **Савоськин А.Н.** Система принудительной коммутации выпрямительно-инверторного преобразователя электровоза переменного тока [Текст] / А.Н. Савоськин, В.В. Литовченко, Д.И. Болдин // Сборник материалов VI Международной научно-технической конференции «Локомотивы. XXI век» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб., 2018. – Т. 2. – С. 50–55.
3. **Ельшибеков А.М.** Разработка принципиальной схемы реостатного тормоза электровоза ВЛ80<sup>с</sup> с применением накопителей электроэнергии [Текст] / А.М. Ельшибеков, М.О. Мусабеков, Г.К. Аширбаев // Сборник материалов VI Международной научно-технической конференции «Локомотивы. XXI век» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб., 2018. – Т. 2. – С. 169–174.
4. **Черемисин В.Т.** Оценка влияния параметров графика движения поездов на расход и потери электроэнергии на тягу поездов на участках I и II типа профиля [Текст] / В.Т. Черемисин, В.Л. Незевак, С.С. Саркенов // Материалы V Международной научно-технической конференции «Локомотивы. XXI век» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб., 2017. – С. 371–381.
5. **Natesan P.** Compensation of Power Quality Problems in Traction Power System Using Direct Power Compensator [Text] / P. Natesan, G. Madhusudanan / IEEE International Conference on Innovations in Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3. – N 7. – Pp. 277–280.
6. **Bueno A.** Harmonic and unbalance compensation based on direct power control for electric railway systems [Text] / A. Bueno, J. Aller and others / IEEE Transactions on power electronics. – 2013. – Vol. 28. – N 12. – Pp. 5823–5831.
7. **Абляимов О.С.** Оценка эффективности перевозочной работы электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> на участке Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги [Текст] // Международный информационно-аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык» / Иркутский филиал Московского гос. тех. ун-та гражданской авиации. – Иркутск, 2018. – № 4 (19). – С. 35–50.
8. **Абляимов О.С.** Тяговые расчеты для электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> на равнинном участке железной дороги [Текст] / О.С. Абляимов, С.Т. Зоирхонов, А.Х. Насуллаев, М.М. Ташпулатов, Т.Т. Шодиев, З.М. Махкамов // Сборник статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в науке и практике» (10 декабря 2018 г., г. Самара). В 4 ч. Ч.1. – Уфа: Изд. Дендра, 2018. – С. 50–63.
9. **Абляимов О.С.** К использованию электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> на равнинном участке железной дороги [Текст] / О.С. Абляимов, С.Т. Зоирхонов, А.Х. Насуллаев, С.И. Эркинов, Ш.М. Искандаров, Ф.О. Хабибуллаев // Сборник статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки в современном мире» (14 декабря 2018 г., г. Уфа). В 2 ч. Ч. 1. – Уфа: Изд. Дендра, 2018. – С. 27–39.
10. **Абляимов О.С.** К эксплуатации электровозов ЗВЛ80<sup>с</sup> на равнинном участке железной дороги [Текст] // Universum: технические науки: электронный научный журнал. – 2020. – № 7 (76). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10620> (дата обращения: 26.08.2020). – С. 59–67.
11. **Кузьмич В.Д.** Теория локомотивной тяги [Текст] / В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель // Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.

12. **Деев В.В.** Тяга поездов [Текст] / В.В. Деев, Г.А. Ильин, Г.С. Афонин // Учеб. пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.

13. **Абляимов О.С.** К анализу эффективности использования электропоездов ЭВЛ80<sup>с</sup> на равнинном участке железной дороги [Текст] / О.С. Абляимов, И.С. Камалов, М.З. Мухитдинов // Международная научно-практическая конференция «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 47–49.

14. **Васько Н.М.** Электропоезд ЭВЛ80<sup>с</sup> [Текст] / Н.М. Васько, А.С. Девятков, А.Ф. Кучеров // Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1990. – 454 с.

15. **Абляимов О.С.** Основы управления локомотивов [Текст] / О.С. Абляимов, Э.С. Ушаков // Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Ташкент: Davr, 2012. – 392 с.

16. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст] // Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

17. **Абляимов О.С.** К анализу тяговых расчетов на новых участках ГАЗК «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О.Т. Касымов, О.С. Абляимов // VIII научно-техническая конференция по проблемам наземных транспортных систем / Ташкентский ин-т инж. ж.-д. транспорта. Ч. II. – Ташкент, 2008. – С. 94–98.

18. **Абляимов О.С.** К обоснованию параметров основных показателей использования электропоездов ЭВЛ80<sup>с</sup> на равнинном участке железной дороги [Текст] / О.С. Абляимов, М.З. Мухитдинов // Материалы II Международной научно-технической конференции «Локомотивы. XXI век» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб., 2014. – С. 213 – 217.

## ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ КБ

kb.panor.ru

Производственно-технический журнал «Конструкторское бюро» является информационной площадкой, объединяющей инженеров-конструкторов и инженеров-технологов в создании промышленного оборудования высокого уровня.

Отличительная особенность журнала — профессиональная компетентность, прикладной характер публикуемых материалов, их конкретность, полезность для текущей работы конструктора, новые знания, широкий охват тематики и вопросов. Отдельное внимание журнал «Конструкторское бюро» уделяет вопросам внедрения новейших разработок в практику, а также повышению квалификации конструкторов различных категорий.

**Наши эксперты и авторы:** Шаталов В.В., ОАО «КБ „Вымпел“»; Бирюков Г.П., КБ транспортного машиностроения; Драгунов Ю.Г., ОКБ «Гидропресс»; Серов И.Н., ЦКБ СПК; Антюфеев В.А., КБ «Спецтехника»; Дыдычкин В.П., ЗАО «НПФ

„ЦКБА“»; Черниховский М.Г., КБ «Агава»; сотрудники КБ «А-Лазер», КБ «Росметалл» и многие другие ведущие ученые и специалисты.

Издается при информационной поддержке Ассоциации механиков, Российской инженерной академии и Академии технических наук.

**Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.**

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Методология проектирования
- Инновации в технологии проектирования
- Испытание опытных образцов
- Доводка серийных изделий
- IT-технологии в проектировании
- Патентная экспертиза технических решений
- Из опыта НИИ и КБ
- Научные разработки и образцы (от теории к практике)
- Нормирование и оплата труда

КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО



На правах рекламы

подписные индексы



36391



P7213

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

УДК 620.92

# МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЙ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ

**Канарейкин А. И.**, доцент кафедры общей физики,  
Российский государственный геологоразведочный университет  
им. С. Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва  
E-mail: kanareykins@mail.ru

Сегодня солнечное электричество широко используется в удаленных районах, где нет централизованного электроснабжения, или для электроснабжения домов, офисов и других зданий в местах, где есть централизованная сеть электроснабжения. Работа посвящена оптимизации и увеличению эффективности использования солнечных панелей за счет метода отслеживания точки максимальной мощности. Проведен анализ проблемы применения данного метода. В статье приведена формула для расчета кривой мощности солнечного модуля. Достоверность полученного результата подтверждается на основании функционального анализа.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, солнечный модуль, эффективности солнечных батарей, точка максимальной мощности, моделирование, кривая мощности.

## MODELING OF THE POWER CURVE OF THE SOLAR MODULE

**Kanarekin A. I.**, associate professor of the department of general physics,  
Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI),  
Moscow

Today, solar electricity is widely used in remote areas where there is no centralized power supply, or for supplying electricity to homes, offices and other buildings in places where there is a centralized power supply network. The work is devoted to optimizing and increasing the efficiency of using solar panels due to the method of tracking the maximum power point. The analysis of the problem of using this method is carried out. The article provides a formula for calculating the power curve of the solar module. The reliability of the obtained result is confirmed on the basis of functional analysis.

**Keywords:** solar energy, solar module, solar cell efficiency, maximum power point, modeling, power curve.

В последние годы именно это применение обеспечивает около 90 % рынка солнечных панелей. В подавляющем большинстве случаев солнечные панели работают параллельно с сетью и генерируют экологически чистое электричество для сетей централизованного

электроснабжения. Можно ожидать, что в ближайшее время солнечная энергетика станет стимулом для экономического развития стран и регионов, обладающих максимальным «солнечным» ресурсом [1].

Одним из ключевых параметром оценки эффективности солнечных батарей

и фотоэлектрических элементов является КПД. КПД отражает эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую как фотоэлектрическими элементами, так и солнечными батареями, собранными из этих элементов.

Также в литературных источниках существует много работ, посвященных оптимизации и увеличению эффективности солнечных панелей с помощью так называемого метода отслеживания точки максимальной мощности [2].

Основной характеристикой солнечного элемента (или фотоэлемента) является его вольт-амперная характеристика (ВАХ). Вольт-амперная характеристика солнечной панели – это один из самых важных параметров, который напрямую связан с его эффективностью. Данная характеристика показывает, как меняется ток, который проходит по цепи от напряжения, которое к ней прилагают. На вольт-амперной характеристике находится точка с координатами  $(U_{mp}, I_{mp})$  (рис. 1), в которой ее выходная мощность достигает своего максимума.

На рис. 1 также есть кривая мощности, по которой можно оценить мощность фотоэлектрического модуля. За рабочее напряжение ( $U_{mp}$ ) принимают напряжение, при котором мощность системы максимальна, рабочий ток ( $I_{mp}$ ) – это ток, который течет при рабочем напряжении.

Как можно видеть, кривая вольт-амперной характеристики солнечных батарей проведена из точек напряжения разомкнутой цепи  $V_{oc}$  и тока короткого замыкания  $I_{sc}$ .

Для достижения максимальной эффективности солнечного модуля используется алгоритм слежения за точкой максимальной мощности ( $P_{mp}$ ), чтобы передавать в нагрузку максимально возможную мощность солнечного модуля. Выполнение этой задачи осложняется нелинейной зависимостью генерируемого солнечным модулем тока от его выходного напряжения.

В связи с этим возникает вопрос о моделировании кривой мощности солнечного модуля с целью оптимального отслеживания точки максимальной мощности для достижения оптимального КПД модуля.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЙ МОЩНОСТИ

Зная функциональную зависимость тока от напряжения [3], найдем кривую мощности по следующей формуле:

$$P = UI. \quad (1)$$

Для начала разобьем график (рис. 1) на две части относительно напряжения в точке максимальной мощности  $U_{mp}$  и будем находить мощности на каждом

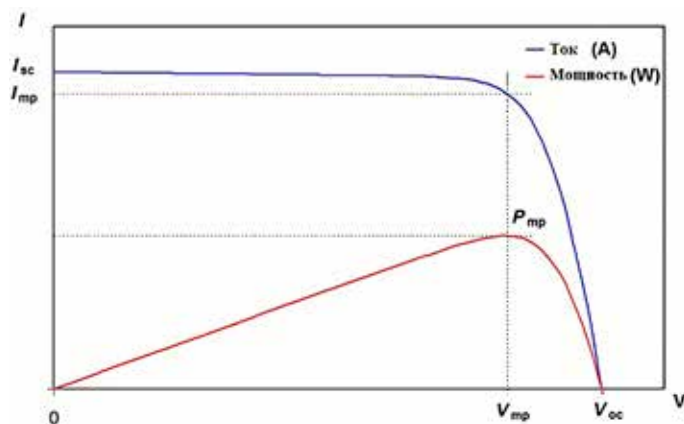


Рис. 1. Вольтамперная характеристика и кривая мощности солнечного элемента



из них. На первой части графика функция зависимости тока от напряжения имеет вид:

$$I(U) = -\frac{I_{sc} - I_{mp}}{U_{mp}^2} U^2 + I_{sc}, \quad (2)$$

тогда мощность на этом участке графика равна:

$$P(U) = -\frac{I_{sc} - I_{mp}}{U_{mp}^2} U^3 + I_{sc} U. \quad (3)$$

Проанализируем полученную зависимость. Так как коэффициент, стоящий перед  $U^3$ , мал по величине, то график зависимости силы тока от напряжения имеет сначала линейную зависимость, как это показано на рис. 1. Так как у каждого солнечного модуля свои технические параметры, то проведем дальнейшее исследование поведения графика функции, в общем, с помощью функционального анализа на выпуклость с помощью второй производной

$$\frac{d^2 P}{dU^2} = -6 \frac{I_{sc} - I_{mp}}{U_{mp}^2} U < 0. \quad (4)$$

Так как вторая производная по знаку меньше нуля, то график функции на этом участке выпуклый. На второй части графика функциональная зависимость силы тока от напряжения имеет вид:

$$I(U) = -\frac{I_{mp}(U - U_{mp})^2}{(U_{oc} - U_{mp})} + I_{mp}, \quad (5)$$

тогда мощность на этом участке графика равна:

$$P(U) = -\frac{I_{mp}U(U - U_{mp})^2}{(U_{oc} - U_{mp})} + I_{mp}U, \quad (6)$$

приведем данное выражение к общему знаменателю:

$$P(U) = -\frac{I_{mp}[U(U_{oc} - 2U_{oc}U_{mp}) + 2UU_{mp} - U^3]}{(U_{oc} - U_{mp})^2}. \quad (7)$$

Как видно, полученная зависимость представляет собой кубическую зависимость. Также проведем исследование поведения графика функции на выпуклость с помощью второй производной

$$\frac{d^2 P}{dU^2} = \frac{I_{mp}(4U_{mp} - 6U)}{(U_{oc} - U_{mp})^2} \quad (8)$$

в данном случае график имеет точку перегиба

$$U_1 = \frac{2}{3} U_{mp}. \quad (9)$$

При переходе через эту точку меняется характер поведения графика функции. Так как  $U_1 < U_{mp}$ , то точка перегиба находится за пределами второго участка. Поэтому на второй части графика вторая производная одного знака. Так как при  $U > U_{mp}$

$$\frac{d^2 P}{dU^2} < 0. \quad (10)$$

По знаку вторая производная меньше нуля, то график функции на этом участке выпуклый, что опять согласуется с рис. 1.

В результате математического моделирования окончательно получаем кривую мощности солнечного модуля в виде функциональной зависимости мощности от напряжения на всем участке

$$P(U) = \begin{cases} -\frac{I_{sc} - I_{mp}}{U_{mp}^2} U^3 + I_{sc} & \text{при } U < U_{mp}; \\ -\frac{I_{mp}U(U - U_{mp})^2}{(U_{oc} - U_{mp})} + I_{mp}U & \text{при } U > U_{mp}. \end{cases} \quad (11)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа посвящена использованию и применению солнечной энергии. Показано, что в целях повышения эффективности солнечных батарей и фотоэлектрических элементов относятся не только их отбор по значению коэффициента полезного действия, но и применение метода отслеживания точки максимальной

мощности. Выполнение последней задачи осложняется нелинейной зависимостью генерируемого солнечным модулем тока от его выходного напряжения. В связи с этим и возникает вопрос о моделировании кривой мощности солнечного модуля для улучшения отслеживания точки максимальной мощности. Приведен вывод формулы для расчета кривой мощности солнечного модуля. Достоверность полученного результата показана на основе дифференцированного исчисления. Полученный результат может быть полезен как для дальнейших теоретических исследований, так и инженерных вычислений

и повышения эффективности солнечных модулей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Удалов Н.С.** Возобновляемые источники энергии. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 412 с.
2. **Малинин Г.В., Серебрянников А.В.** Слежение за точкой максимальной мощности солнечной батареи // Вестник Чувашского университета. – 2016. – № 3. – С. 76–93.
3. **Kanareykin A.I.** On the correctness of calculating the Fill Factor of the solar module // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 808 (2021) 012018. – <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/808/1/012018>

## ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР

УПРАВЛЕНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫМ  
ПРЕДПРИЯТИЕМ



На правах рекламы

### ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ



82714



П7310

## ЛУЧШИЕ ИДЕИ. ЛУЧШИЙ ОПЫТ

gd.panor.ru

Журнал «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» освещает актуальные вопросы управления производством, практический опыт лучших российских и зарубежных предприятий.

Отличительная особенность журнала «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» — практическая направленность и прикладной характер публикуемых материалов, их нацеленность на решение конкретных вопросов, возникающих в процессе управления промышленным предприятием.

**Наши эксперты и авторы:** **Адлер Ю.П.**, президент Международной гильдии профессионалов качества; **Бережной А.А.**, гендиректор компании ЗАО «Ральф Рингер»; **Быков В.А.**, профессор РАНХиГС; **Верещагин В.В.**, президент общества «РусРиск»; **Гутенев В.В.**, Первый зампреда Комитета ГД РФ по промышленности, Первый вице-президент Союза машиностроителей России; **Емельянова Е.Л.**, президент Ассоциации межрегиональных маркетинговых центров; **Жданкин Н.А.**, д-р техн. наук, академик РАЕН, профессор НИТУ «МИСиС», президент ООО «РЕГУЛ-КОНСАЛТ»; **Кушнарев А.В.**, управляющий директор ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»; **Москаленко К.А.**, президент Академии общественно-экономических наук и предпринимательской деятельности, академик; **Поляков И.В.**, гендиректор Омского производственного объединения «Радиозавод им. А. С. Попова»; **Спири-**

**чев В.А.** гендиректор ЗАО «Валетек»; **Фролов Е.Б.**, д-р техн. наук, профессор МГТУ «СТАНКИН»; **Юрьев А.Б.**, управляющий директор Новокузнецкого металлургического комбината, а также руководители министерств и ведомств, руководители комитетов ТПП РФ и РСПП, Комитета ГД РФ по экономической политике и предпринимательству, ведущие эксперты в области управления, технической политике, финансов, экономической безопасности.

Журнал издается при информационной поддержке РСПП, ТПП РФ, Института статистических исследований и экономики знаний ГУ-ВШЭ, Русского общества управления рисками.

**Ежемесячное полноцветное издание.**

**Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.**

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Менеджмент инноваций
- Техническая политика
- Антикризисное управление
- Управление финансами
- Стратегический менеджмент
- Управление качеством
- Экономическая безопасность
- Риск-менеджмент
- Арбитражная практика
- Зарубежный опыт
- Нормирование, организация и оплата труда
- Психология управления

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

УДК 621.31

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА ЗАО «СИБГАЗСТРОЙДЕТАЛЬ» С ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

**Руди Д. Ю.**, аспирант

E-mail: [dima\\_rudi@mail.ru](mailto:dima_rudi@mail.ru),

Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Омск

В рассматриваемой статье проведено исследование в системе электро-снабжения механического цеха ЗАО «Сибгазстройдеталь» в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 30804.4.7-2013 и в соответствии с программой измерений. Описан способ обработки результатов исследований, полученных в ходе проведения эксперимента. Все показатели качества электроэнергии обработаны при помощи программ для ЭВМ, созданные в среде графического программирования Labview. Выполнен анализ показателей качества электрической энергии требованиям ГОСТ 32144-2013, по результатам которого в электрической сети 0,4 кВ обнаружены кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи по коэффициенту  $n$ -й гармонических составляющих напряжения. Полученные значения показателей качества электрической энергии, характеризующих коэффициент  $n$ -й гармонических составляющих напряжения, подтверждают необходимость применения технических средств по снижению влияния высших гармоник на электрические сети.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, суммарный коэффициент гармонической составляющей, гармоники, электромагнитная помеха, несимметрия напряжений, медленные изменения напряжения, ГОСТ 32144-2013.

## ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE MECHANICAL SHOP OF CJSC SIBGAZSTROYDETAL WITH INDUCTION HEATING ELECTRICAL INSTALLATIONS

**Rudy D. Y.**, postgraduate student,

Siberian State University of Water Transport, city of Omsk

*In this article, a study was conducted in the power supply system of the mechanical workshop of CJSC Sibgazstroydetal, in accordance with the requirements of GOST 30804.4.7–2013 standard and in accordance with the measurement program. The method of processing the research results obtained during the experiment is described. All electricity quality indicators are processed using computer programs created in the Labview graphical programming environment. The analysis of electric energy quality indicators according to the requirements of GOST 32144-2013 was performed, according to the results of which conductive low-frequency electromagnetic interference was detected in the 0.4 kV electrical network by the coefficient of the  $n$ th harmonic components of the voltage. The obtained values of the electric energy quality indicators characterizing the coefficient of the  $n$ th harmonic components of the voltage confirm the need to use technical means to reduce the influence of higher harmonics on electric networks.*

**Keywords:** quality of electric energy, total coefficient of the harmonic component, harmonics, electromagnetic interference, voltage asymmetry, slow voltage changes, GOST 32144-2013.

В настоящее время на промышленных предприятиях широко используются электроустановки индукционного нагрева (ЭИН) для поверхностной закалки, гибки и термообработки деталей машин, закалки деталей сложной формы и т. д.

Для создания индуцированных токов используются высокочастотные генераторы на базе тиристорных преобразователей. Тиристорные преобразователи являются источниками высших гармоник тока и напряжения в электрическую сеть, входящую в состав системы электроснабжения промышленного предприятия.

Главным источником высших гармоник в системах электроснабжения промышленных предприятий являются приемники с нелинейными характеристиками. К таким в первую очередь относятся преобразовательные устройства для питания дуговых установок постоянного тока (вакуумные, плазменные и т. д.), тиристорные источники повышенной и пониженной частоты для технологических процессов, тиристорные преобразователи для регулирования электропривода. Эти нагрузки достигают очень больших значений (до 2000 МВт) и могут составлять подавляющую часть нагрузки предприятий некоторых отраслей промышленности (например, электролизеры алюминиевых заводов) [1].

Высшие гармоники в питающем напряжении вредно воздействуют на ряд при-

емников. Появляются дополнительные потери в электрических машинах, сетях и трансформаторах, пропускная способность которых снижается. Значительно сокращается срок службы изоляции электрических двигателей, кабельных линий и конденсаторов. Появляется вероятность возникновения резонансных явлений в батареях конденсаторов, что часто является причиной их выхода из строя. Ухудшается работа устройств автоматики, значительно возрастают погрешности приборов [2].

Проблема качества электроэнергии наряду с надежностью и экономичностью является одной из главных в электроэнергетике. Исследование этой проблемы привело к созданию целого научного направления. В настоящее время имеется большое количество публикаций, посвященных отдельным аспектам качества электроэнергии [3–9].

Исследование проводилось на предприятии ЗАО «Сибгазстройдеталь» в механическом цехе. Для измерений использовался прибор-анализатор качества электроэнергии «Ресурс-ПКЭ-1.7-оэ-А» заводской номер 32696-12.

Результаты, полученные при исследовании, обработаны при помощи программы для ЭВМ [10, 11], созданные в среде графического программирования Labview [12, 13].

Сводные данные результатов испытаний представлены в табл. 1–3.



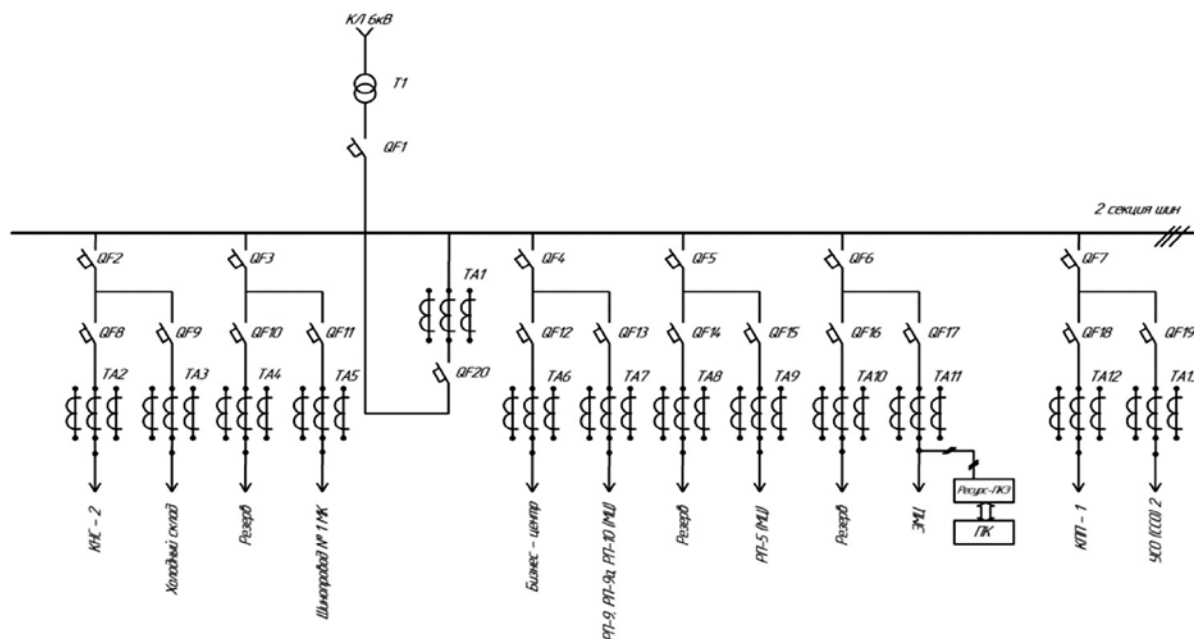


Рис. 1. Схема подключения прибора-анализатора электроэнергии в электрическую сеть объекта исследования

Таблица 1

**Сводные данные результатов испытаний по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения**

| № п/п | Параметры                                                                                           | Значения на фазе А | Значения на фазе В | Значения на фазе С |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1     | Максимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, $K_u$ , max, % | 4,03               | 4,01               | 4,03               |
| 2     | Минимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, $K_u$ , min, %  | 0,66               | 0,61               | 0,63               |
| 3     | Математическое ожидание суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $M[K_u]$ , %  | 3,18               | 3,06               | 3,14               |
| 4     | Среднеквадратичное отклонение $\delta[K_u]$                                                         | 0,84               | 0,77               | 0,81               |
| 5     | Вероятность выхода за нормально допустимое значение коэффициента $K_{ин}$                           | 0                  | 0                  | 0                  |
| 6     | Вероятность выхода за предельно допустимое значение коэффициента $K_{ип}$                           | 0                  | 0                  | 0                  |
| 7     | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K_u$ , %                                      | 0                  | 0                  | 0                  |
| 8     | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K_u$ по нормально допустимому значению, %     | 0                  | 0                  | 0                  |
| 9     | Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП $K_u$ по предельно допустимому значению, %     | 0                  | 0                  | 0                  |

Таблица 2

**Сводные данные значений коэффициента  
n-й гармонических составляющих напряжения**

| № гармо-<br>ники | Механический цех         |                          |                          |                          |                          |                          | K <sub>u(n),н</sub> , % | Ku(n),п, % |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|
|                  | Фаза А                   |                          | Фаза В                   |                          | Фаза С                   |                          |                         |            |
|                  | K <sub>u(n),min'</sub> % | K <sub>u(n),max'</sub> % | K <sub>u(n),min'</sub> % | K <sub>u(n),max'</sub> % | K <sub>u(n),min'</sub> % | K <sub>u(n),max'</sub> % |                         |            |
| 2                | 0,00                     | 0,17                     | 0,00                     | 0,16                     | 0,00                     | 0,14                     | 2,00                    | 3,00       |
| 3                | 0,00                     | 0,33                     | 0,03                     | 0,47                     | 0,01                     | 0,43                     | 5,00                    | 7,50       |
| 4                | 0,00                     | 0,10                     | 0,00                     | 0,14                     | 0,00                     | 0,09                     | 1,00                    | 1,50       |
| 5                | 0,32                     | 2,35                     | 0,23                     | 2,26                     | 0,19                     | 2,39                     | 6,00                    | 9,00       |
| 6                | 0,00                     | 0,10                     | 0,00                     | 0,14                     | 0,00                     | 0,07                     | 0,50                    | 0,75       |
| 7                | 0,00                     | 2,23                     | 0,01                     | 2,09                     | 0,01                     | 1,89                     | 5,00                    | 7,50       |
| 8                | 0,00                     | 0,27                     | 0,00                     | 0,39                     | 0,00                     | 0,22                     | 0,50                    | 0,75       |
| 9                | 0,01                     | 0,76                     | 0,00                     | 0,58                     | 0,00                     | 0,39                     | 1,50                    | 2,25       |
| 10               | 0,00                     | 0,34                     | 0,00                     | 0,41                     | 0,00                     | 0,18                     | 0,50                    | 0,75       |
| 11               | 0,14                     | 1,86                     | 0,10                     | 1,78                     | 0,13                     | 2,21                     | 3,50                    | 5,25       |
| 12               | 0,00                     | <b>0,23</b>              | 0,00                     | <b>0,30</b>              | 0,00                     | 0,12                     | 0,20                    | 0,30       |
| 13               | 0,01                     | 1,80                     | 0,00                     | 1,74                     | 0,04                     | 1,49                     | 3,00                    | 4,50       |
| 14               | 0,00                     | <b>0,24</b>              | 0,00                     | <b>0,40</b>              | 0,00                     | <b>0,21</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 15               | 0,00                     | <b>0,93</b>              | 0,00                     | <b>0,73</b>              | 0,00                     | <b>0,49</b>              | 0,30                    | 0,45       |
| 16               | 0,00                     | <b>0,31</b>              | 0,00                     | <b>0,43</b>              | 0,00                     | 0,19                     | 0,20                    | 0,30       |
| 17               | 0,05                     | 1,17                     | 0,04                     | 1,31                     | 0,04                     | 1,61                     | 2,00                    | 3,00       |
| 18               | 0,00                     | <b>0,32</b>              | 0,00                     | <b>0,42</b>              | 0,00                     | 0,16                     | 0,20                    | 0,30       |
| 19               | 0,00                     | <b>1,64</b>              | 0,00                     | 1,45                     | 0,01                     | 1,16                     | 1,50                    | 2,25       |
| 20               | 0,00                     | <b>0,30</b>              | 0,00                     | <b>0,48</b>              | 0,00                     | <b>0,27</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 21               | 0,00                     | <b>1,05</b>              | 0,00                     | <b>0,82</b>              | 0,00                     | <b>0,50</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 22               | 0,00                     | <b>0,32</b>              | 0,00                     | <b>0,47</b>              | 0,00                     | 0,20                     | 0,20                    | 0,30       |
| 23               | 0,00                     | 0,88                     | 0,00                     | 1,12                     | 0,00                     | <b>1,52</b>              | 1,50                    | 2,25       |
| 24               | 0,00                     | <b>0,31</b>              | 0,00                     | <b>0,45</b>              | 0,00                     | 0,20                     | 0,20                    | 0,30       |
| 25               | 0,00                     | 1,34                     | 0,03                     | 1,02                     | 0,01                     | 1,07                     | 1,50                    | 2,25       |
| 26               | 0,00                     | <b>0,29</b>              | 0,00                     | <b>0,48</b>              | 0,00                     | <b>0,29</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 27               | 0,00                     | <b>0,92</b>              | 0,00                     | <b>0,78</b>              | 0,00                     | <b>0,61</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 28               | 0,00                     | <b>0,30</b>              | 0,00                     | <b>0,46</b>              | 0,00                     | <b>0,23</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 29               | 0,00                     | 0,87                     | 0,01                     | 0,79                     | 0,00                     | 1,20                     | 1,50                    | 2,25       |
| 30               | 0,00                     | <b>0,29</b>              | 0,00                     | 0,44                     | 0,00                     | 0,21                     | 0,20                    | 0,30       |
| 31               | 0,00                     | 1,10                     | 0,00                     | 0,94                     | 0,00                     | 0,77                     | 1,50                    | 2,25       |
| 32               | 0,00                     | <b>0,26</b>              | 0,00                     | <b>0,43</b>              | 0,00                     | <b>0,32</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 33               | 0,00                     | <b>0,78</b>              | 0,00                     | <b>0,64</b>              | 0,00                     | <b>0,52</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 34               | 0,00                     | <b>0,25</b>              | 0,00                     | <b>0,42</b>              | 0,00                     | <b>0,23</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 35               | 0,00                     | 0,71                     | 0,01                     | 0,59                     | 0,00                     | 1,02                     | 1,50                    | 2,25       |
| 36               | 0,00                     | <b>0,25</b>              | 0,00                     | <b>0,39</b>              | 0,00                     | <b>0,21</b>              | 0,20                    | 0,30       |
| 37               | 0,00                     | 0,78                     | 0,00                     | 0,76                     | 0,00                     | 0,52                     | 1,50                    | 2,25       |
| 38               | 0,00                     | 0,21                     | 0,00                     | 0,40                     | 0,00                     | 0,28                     | 0,20                    | 0,30       |
| 39               | 0,00                     | 0,63                     | 0,00                     | 0,50                     | 0,00                     | 0,49                     | 0,20                    | 0,30       |
| 40               | 0,00                     | 0,21                     | 0,00                     | 0,35                     | 0,00                     | 0,20                     | 0,20                    | 0,30       |

Таблица 3

**Вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП  
по коэффициенту n-й гармонической составляющей напряжения**

| №  | Фаза А               |                      |                      | Фаза В               |                      |                      | Фаза С               |                      |                      |
|----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|    | $\delta K_{U(n), н}$ | $\delta K_{U(n), п}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $\delta K_{U(n), н}$ | $\delta K_{U(n), п}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ | $\delta K_{U(n), н}$ | $\delta K_{U(n), п}$ | $P(\delta K_{U(n)})$ |
| 2  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 3  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 4  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 5  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 6  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 7  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 8  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 9  | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 10 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 11 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 12 | 13,03                | 0                    | 8,028                | 60,18                | 0                    | 55,18                | 0                    | 0                    | 0                    |
| 13 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 14 | 12,84                | 0                    | 7,844                | 24,86                | 38,81                | 58,67                | 0,917                | 0                    | 0                    |
| 15 | 12,06                | 51,34                | 58,39                | 6,785                | 55,81                | 57,6                 | 11,85                | 1,023                | 7,873                |
| 16 | 41,80                | 0,18                 | 36,98                | 9,725                | 56,33                | 61,06                | 0                    | 0                    | 0                    |
| 17 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 18 | 57,06                | 0,46                 | 52,52                | 8,349                | 58,44                | 61,79                | 0                    | 0                    | 0                    |
| 19 | 4,293                | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 20 | 49,91                | 0                    | 44,91                | 7,253                | 61,83                | 64,36                | 9,191                | 0                    | 4,191                |
| 21 | 11,17                | 80,37                | 86,54                | 7,738                | 84,35                | 87,09                | 24,16                | 19,41                | 38,57                |
| 22 | 59,63                | 0,458                | 55,09                | 13,21                | 63,39                | 71,61                | 0                    | 0                    | 0                    |
| 23 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0,168                | 0                    | 0                    |
| 24 | 61,19                | 0,55                 | 56,74                | 15,87                | 62,66                | 73,53                | 0                    | 0                    | 0                    |
| 25 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 26 | 42,11                | 0                    | 37,11                | 20,73                | 63,67                | 79,4                 | 8,349                | 0                    | 3,349                |
| 27 | 3,141                | 89,39                | 89,39                | 0,763                | 91,82                | 91,82                | 37,52                | 24,43                | 56,95                |
| 28 | 53,03                | 0                    | 48,03                | 29,63                | 67,25                | 91,88                | 2,477                | 0                    | 0                    |
| 29 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 30 | 47,43                | 0                    | 42,43                | 31,65                | 65,23                | 91,88                | 0,733                | 0                    | 0                    |
| 31 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 32 | 8,624                | 0                    | 3,624                | 36,97                | 57,98                | 89,95                | 9,908                | 0,642                | 5,55                 |
| 33 | 4,77                 | 89,42                | 89,42                | 9,185                | 84,84                | 89,02                | 31,13                | 29,79                | 55,91                |
| 34 | 15,5                 | 0                    | 10,5                 | 58,26                | 37,25                | 90,5                 | 4,22                 | 0                    | 0                    |
| 35 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 36 | 9,174                | 0                    | 4,174                | 64,95                | 30,00                | 89,95                | 0,642                | 0                    | 0                    |
| 37 | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| 38 | 1,009                | 0                    | 0                    | 71,56                | 23,03                | 89,59                | 9,541                | 0                    | 4,541                |
| 39 | 31,03                | 61,71                | 87,74                | 32,53                | 51,50                | 79,03                | 21,96                | 39,42                | 56,38                |
| 40 | 1,009                | 0                    | 0                    | 80,64                | 13,39                | 89,04                | 0                    | 0                    | 0                    |

На рис. 2 и 3 представлены некоторые осциллограммы изменения и гистограммы распределения значений коэффициента  $n$ -й гармонической составляющей напряжения, выходящие за пределы нормально допустимых и предельно допустимых значений.

Из осциллограмм видно, что на некоторых промежутках времени значения коэффициентов  $n$ -й гармонической составляющей напряжения выходят за пределы нормально допустимого значения.

Для наглядности расчета кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффици-

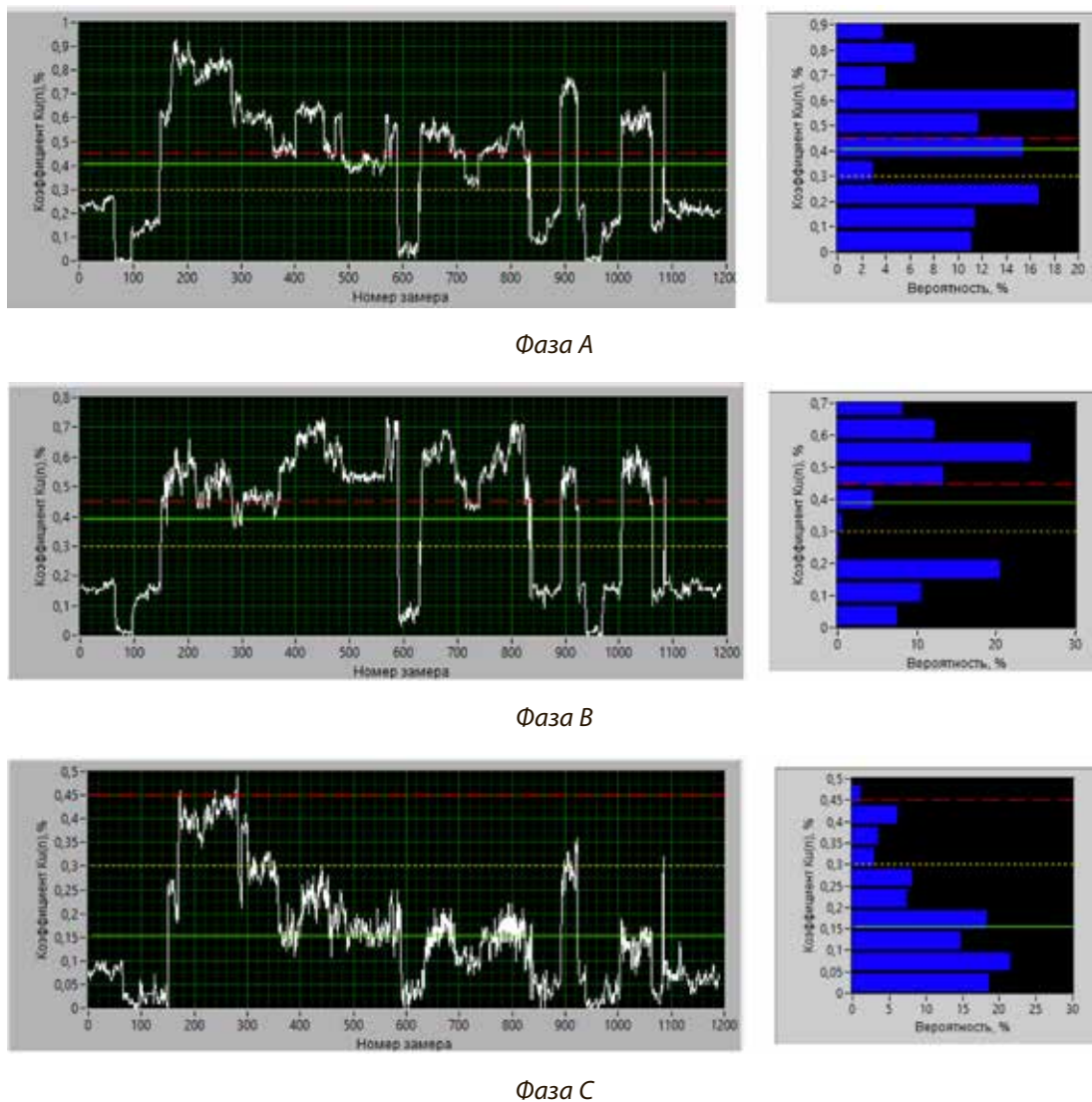


Рис. 2. Осциллограммы изменения коэффициента и гистограммы распределения значений 15-й гармонической составляющей напряжения

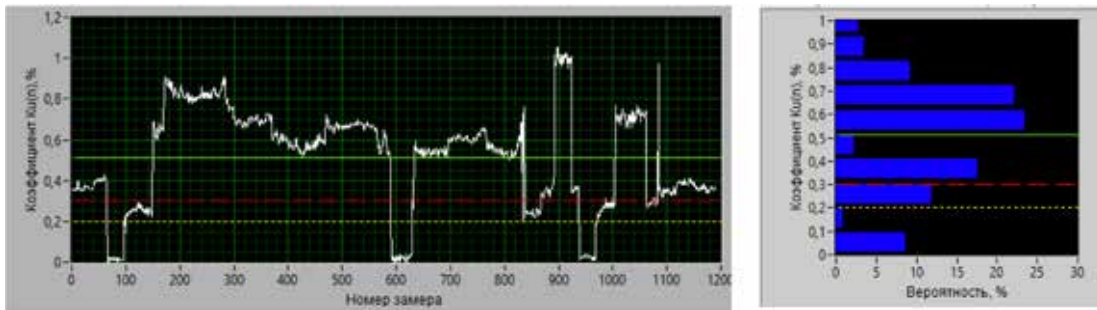
енту  $n$ -й гармонической составляющей напряжения на рис. 4 и 5 представлены графики нормальной плотности вероятности распределения, совмещенные с нормируемыми значениями уровней ЭМС технических средств.

По результатам сводных данных таблиц, суточных осциллограмм напря-

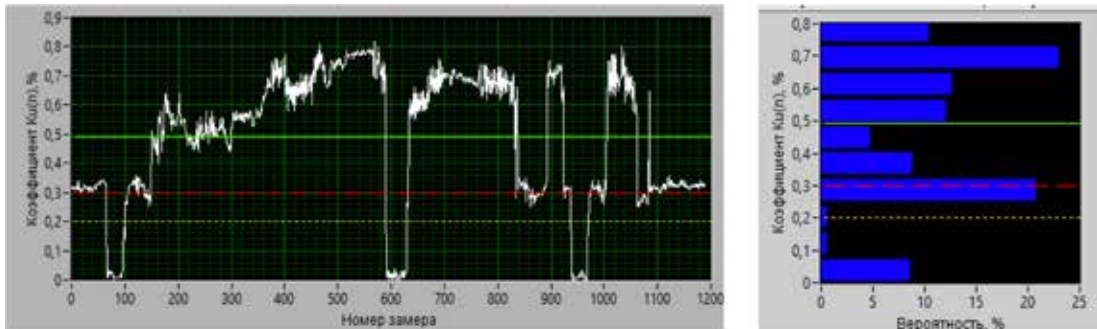
жений и гистограмм плотности распределения, а также графиков нормальной плотности вероятности распределения кондуктивной электромагнитной помехи сделаны следующие наблюдения и выводы:

Результаты измерений показателей качества электроэнергии по коэффици-

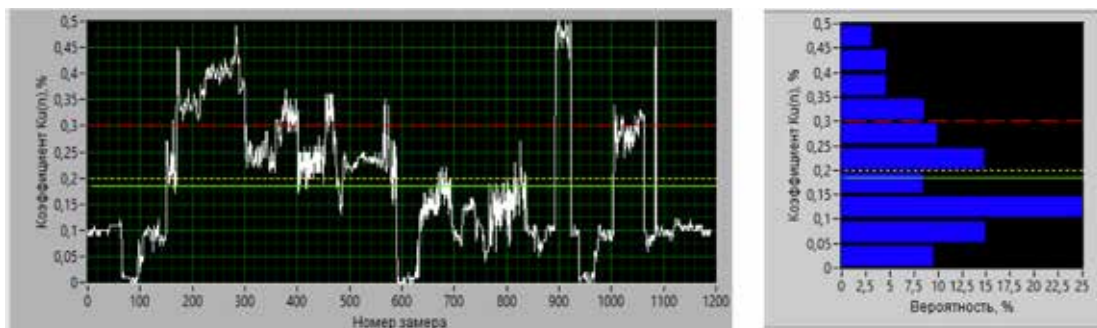




Фаза А



Фаза В



Фаза С

Рис. 3. Осциллограммы изменения коэффициента и гистограммы распределения значений 21-й гармонической составляющей напряжения

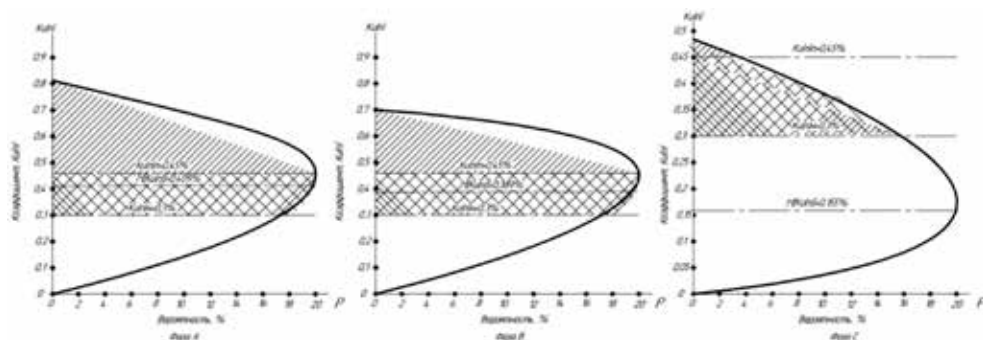


Рис. 4. Графики нормальной плотности вероятности распределения коэффициента 15-й гармонической составляющей напряжения, совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС

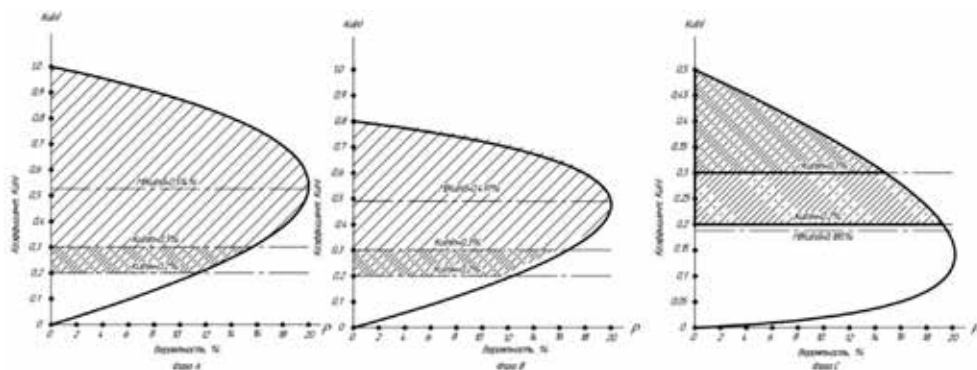


Рис. 5. Графики нормальной плотности вероятности распределения коэффициента 21-й гармонической составляющей напряжения, совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС

енту  $n$ -й гармонической составляющей напряжения не соответствует требованиям стандарта. За нормально и допустимые пределы выходят гармоники: 12; 14; 15; 16; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 26; 27; 28; 30; 32; 33; 34; 36; 38; 39; 40 – на фазе А; 12; 14; 15; 16; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 26; 27; 28; 30; 32; 33; 34; 36; 38; 39; 40 – на фазе В; 14; 15; 20; 21; 23; 26; 27; 28; 30; 32; 33; 34; 36; 38; 39 – на фазе С.

Вероятность выхода показателей по медленному изменению напряжения выше номинального значения на всех фазах равна 0. Вероятность выхода коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности равна 0. Вероятность выхода суммарного коэффициента гармонической составляющей напряжений равна 0.

## ВЫВОД

Особое внимание стоит уделить несоответствию значений коэффициентов  $n$ -й гармонических составляющих напряжения нормированным пределам межгосударственного стандарта ГОСТ 32144-2013 [14]. Необходимо внедрить в системы электроснабжения батареи статических конденсаторов (БСК) или силовые фильтры и произвести мероприятия по снижению коэффициентов  $n$ -й гармонических составляющих напряжения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984 – 160 с.
2. Люtareвич А.Г. Оценка дополнительных потерь мощности от высших гармоник в элементах систем электроснабжения / А.Г. Люtareвич [и др.] // Омский научный вестник. – 2009. – С. 109–113.
3. Иванова Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. транспорта, 2006. – 432 с. ISBN 5-8119-0201-0.
4. Хацевский К.В. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения / К.В. Хацевский [и др.] // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (110). – С. 212–214.
5. Вишнягов М.Г. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой / М.Г. Вишнягов, Ю.М. Иванова, В.Г. Сальников // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 2. – С. 242–247.
6. Асосков С.М. К проблеме электроснабжения при некачественной электроэнергии / С.М. Асосков [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 1. – С. 333–336.
7. Руди Д.Ю. Обеспечение качества электрической энергии как неотъемлемый фактор задачи энергосбережения // В сб.: Интеграционные процессы в науке в современных условиях. Сборник статей Международной

научно-практической конференции / отв. ред. А. А. Сукиасян. – Уфа, 2019. – С. 12–15.

8. **Горелов С.В.** Повышение качества электрической энергии в сетях с нелинейными потребителями / С.В. Горелов [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – № 3-4. – С. 151–153.

9. **Руди Д.Ю.** Исследование высших гармоник в электрических сетях низкого напряжения / Д.Ю. Руди [и др.] // Омский научный вестник. – 2018. – № 6 (162). – С. 119–125.

10. Государственная регистрация программы для ЭВМ RU2016616351. Программа для оценки влияния суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения на качество электрической энергии / А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов [и др.]. – № 2016613475; заявл. 11.04.16, опубл. 20.07.16. Бюл 7(117). – 1 с.

11. **Руди Д.Ю.** Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту n-й гармонической составляющей напряжения / Д.Ю. Руди [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные

технологии, системы управления. – 2020. – № 33. – С. 177–194.

12. **Денчик Ю.М.** Разработка программного обеспечения для обработки результатов экспериментальных исследований установившегося отклонения напряжения средствами LabView / Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Е.Ю. Руппель // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 362–365.

13. **Зубанов Д.А.** Обработка результатов экспериментальных исследований показателей качества электрической энергии средствами программы LabView / Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин, А.А. Сидоренко // В сб.: Сборник научных трудов Новосибирская государственная академия водного транспорта. Иртышский филиал (Омск). – Омск, 2012. – С. 118–121.

14. **ГОСТ 32144-2013.** Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.



На правах рекламы

подписные индексы



41614



P7218

## КОНТРОЛЬ — ГАРАНТИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИИ

smetod.panor.ru

Производственно-технический журнал «Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов» посвящен системам технического диагностирования, применяемым в различных отраслях промышленности.

Издание публикует актуальную информацию в области неразрушающего контроля: инновационные способы неразрушающего контроля и многое другое. Статьи отличаются своей конкретностью, практической направленностью и основаны на реальном опыте специалистов в данной области.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Новые виды и методы контроля
- Внедрение систем диагностики
- Визуальный и измерительный контроль
- Энергоаудит и измерительный контроль
- Обзор диагностического оборудования
- Средства комплексной диагностики
- Датчики приборов неразрушающего контроля
- Зарубежный опыт
- Технический контроль на предприятиях (организация контроля и диагностики)
- Нормативные документы

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

УДК 537.12; 621.36

# МАГНИТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

**Филимонов С. С.**, оператор ЭВМ ЦМВД,

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

E-mail: serfv43@gmail.com

*Оценка перспектив магнитных полупроводников для использования их в создании термоэлектрических преобразователей энергии.*

**Ключевые слова:** эффект Зеебека, термо-ЭДС, замкнутая электрическая цепь, изменение температуры, магнитные полупроводники, разность температуры, ферромагнетики, полупроводник.

## MAGNETIC SEMICONDUCTORS FOR EFFICIENT THERMOELECTRIC ENERGY CONVERTERS

**Filimonov S. S.**, computer operator of the CMVD,

FGBOU VO "KGEU", city of Kazan

*Evaluation of the prospects of magnetic semiconductors for their use in the creation of thermoelectric energy converters.*

**Keywords:** Seebeck effect, thermo-EMF, closed electric circuit, temperature change, magnetic semiconductors, temperature difference, ferromagnets, semiconductor.

На данный момент во многих исследовательских институтах идут эксперименты по разработке новых полупроводников, которые будут пригодны для термоэлектрических преобразователей энергии (ТПЭ). ТПЭ – устройства, применяемые в промышленности, научных исследованиях, медицине, в системах автоматики. Принцип работы термоэлектрических преобразователей энергии основан на эффекте Зеебека, данное явление состоит в том, что в электрической цепи, составленной из разных проводников ( $M_1$  и  $M_2$ ), возникает термо-ЭДС, если места контактов ( $A$ ,  $B$ ) поддерживаются при различных температурах. Если цепь

замкнута, то в ней течет электрический ток (термоток), причем изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением направления термотока [1].

Известно, что важнейшим параметром, определяющим свойства материала, является безразмерное значение его термоэлектрической добротности:

$$\sigma S^2 T / k = ZT,$$

где:  $\sigma$  – удельная электропроводность;  
 $S$  – коэффициент Зеебека;  
 $T$  – рабочая температура;  
 $k$  – полная теплопроводность.



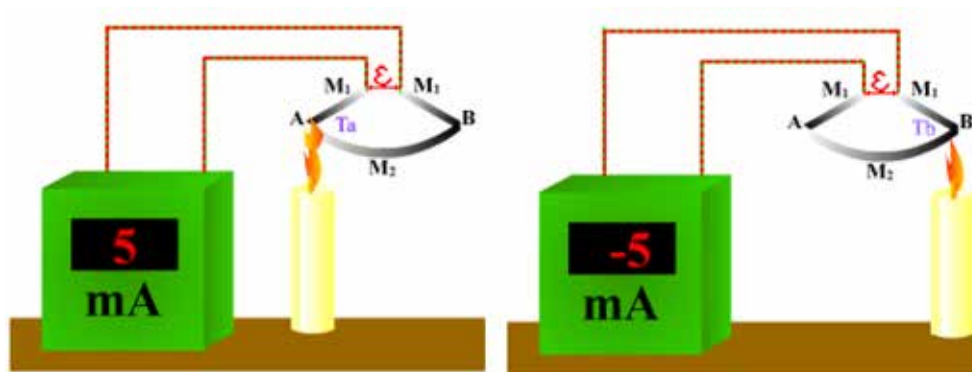


Рис. 1. Электрическая цепь и изменение направления термотока

В данной работе приводятся результаты исследований в природных образцах магнитных полупроводниковых минералов халькопирита из Талнахского и Сибайского месторождений, где они являются главными добываемыми рудными минералами. Исследуемые образцы были в виде поликристаллических порошков с размером зерен более 0,2 мм [2].

В качестве эффективных термоэлектриков были выбраны магнитные полу-

проводники. Одним из представителей этого класса соединений является известный полупроводниковый минерал халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ .

Кристаллическую структуру халькопирита представляют в виде чередующихся металлических слоев, разделенных слоями атомов серы. Установлено, что халькопирит имеет большой коэффициент Зеебека ( $500 \mu\text{V/K}$ , при температуре 300 K) [3, 4].

Суть данной работы заключена в том, чтобы найти новые, более устойчивые к нагрузкам материалы, с помощью которых человечество сможет передавать электроэнергию.

Полученный результат является дополнительным подтверждением магнитного механизма ядерной спин-решеточной релаксации в  $\text{CuFeS}_2$ .

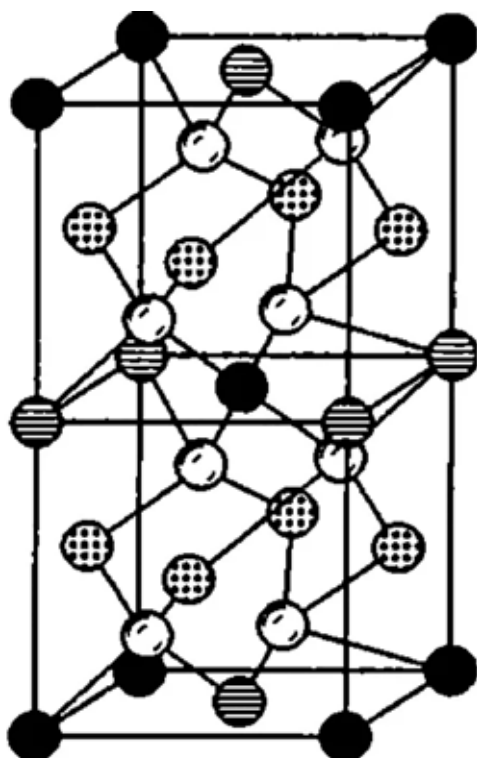


Рис. 2. Кристаллическая структура халькопирита  $\text{CuFeS}_2$

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кухлинг Х.** Справочник по физике. – М.: Мир. – 1982. – С. 374–375.
2. *Magnetic Resonance and Its Applications / V.I. Chizhik [et al.].* – Springer, 2014. – 782 p.
3. **Mori T.** Novel Materials and Processes to Develop Viable Thermoelectrics // *Journal of Physics: Conf. Series.* – 2018. – Vol. 1052, conf. 1. – 4 p.
4. Исследования полупроводникового минерала  $\text{CuFeS}_2$  из гидротермальных отложений океанского рифа методом ЯМР Cu в локальном поле / В.Л. Матухин [и др.] // *Физика и техника полупроводников.* – 2017. – Т. 51, № 1. – С. 8–11.

УДК 658.382

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1000 В

**Бобоев Х. Д.**, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности,  
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск  
E-mail: khboboev-93@mail.ru

*В статье рассматривается оценка метода, основанного на подключении дополнительной емкости к одной из фаз для определения косвенным методом параметров изоляции фаз относительно земли сетей с изолированной нейтралью напряжением 6 кВ в программной среде MATLAB/SIMULINK. Приведены результаты исследования влияния различных факторов на точность измерений параметров сопротивления изоляции фаз сети относительно земли.*

**Ключевые слова:** распределительные сети, изолированная нейтраль, параметры изоляции, дополнительная емкость.

## ANALYSIS AND EVALUATION OF INDIRECT METHODS FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF NETWORK INSULATION WITH A VOLTAGE ABOVE 1000 V

**Boboev Kh. D.**, post-graduate student of life safety department,  
Southern Ural State University, city of Chelyabinsk

*The article considers the evaluation of a method based on connecting an additional capacitance to one of the phases to determine the parameters of phase isolation relative to the ground of networks with an isolated neutral voltage of 6 kV in the MATLAB/SIMULINK software environment by indirect methods. The results of the study of the influence of various factors on the accuracy of measurements of the insulation resistance parameters of the network phases relative to the ground are presented.*

**Keywords:** distribution networks, isolated neutral, insulation parameters, additional capacity.

Одним из основных факторов, определяющих надежность и электропожаробезопасность эксплуатации распределительных электрических сетей, является состояние электрической изоляции. Повреждение изоляции является часто основной причиной многих несчастных случаев. Для знания фак-

тического состояния изоляции электрических сетей необходимы методы измерений, при которых нормальные условия эксплуатации сетей не нарушаются. Тем самым, определение величин сопротивления изоляции, имеющих место при нормальном рабочем напряжении [1–7].

Поэтому при исследовании состояние изоляции эксплуатирующихся сетей целесообразно отдать предпочтение способом измерения, не требующим снятия рабочего напряжения.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение параметров изоляции может быть выполнено прямым или косвенным методами [3, 8, 9]. Прямой метод (металлическое замыкание одной из фаз на землю) прост, позволяет определять полную проводимость изоляции фаз сети относительно земли и его составляющие. Однако его применение сопряжено с рядом трудностей организационного порядка, кроме того, замыкание одной из фаз на землю может стать причиной появления в сети многоместных замыканий на землю. Последнее приводит к снижению надежности электроснабжения и ухудшению условий электробезопасности для персонала, занятого измерениями в сети, а также эксплуатирующего оборудование, подключенное к ней [3, 4, 10, 11].

Учитывая изложенное, предпочтение необходимо отдать косвенным методам определения указанных параметров. С точки зрения безопасности и точности измерений, в настоящее время для определения параметров изоляции фаз сети относительно земли в сетях с изолированной нейтралью наиболее приемлемым является косвенный метод, основанный на подключении к одной из фаз сети дополнительной проводимости [4, 5, 11, 12].

Анализ известных методов, практика применения их в реальных распределительных сетях показали, что в качестве дополнительной проводимости целесообразно применять емкости [3, 4, 13, 14], поскольку это не только обеспечивает безопасность при производстве измерений, но и исключает снижение надежности распределительных электрических сетей. Кроме того, дополнительная емкость имеет стабильные параметры, не изменяющиеся в течение времени выполнения измерений, в отличие, например, от дополнительной активной проводимости

[3–5]. При исследовании параметров изоляции распределительных электрических сетей в нормальном эксплуатационном режиме измерения проводятся без снятия рабочего напряжения.

### КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ

С практической точки зрения большое значение имеет исследование погрешностей методов определения параметров изоляции. Подобные исследования провести в реальной распределительной электрической сети невозможно. С целью оценки влияния на точность определения параметров изоляции фаз сети относительно земли была разработана компьютерная модель с использованием Matlab/Simulink [3, 4, 15–17], а также проверена ее адекватность [3, 15, 18].

Исследования погрешностей определения параметров изоляции фаз сети относительно земли проводились по методике, приведенной в [5, 13, 19]. Оценим влияние несимметрии в сети на точность определения параметров изоляции. Несимметрия создается сопротивлениями изоляции фаз сети относительно земли. Следует отметить, что согласно ГОСТ 32144-2013 при несимметрии напряжения в трехфазных системах, усредненные в интервале времени 10 мин., не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю [20], поэтому в работе рассмотрены режимы несимметрии в сети до 5 %.

### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Исследование погрешностей определения заключается в раскрытии зависимостей величин установленной активной и емкостной проводимостей изоляции сети относительно земли от величины и характера нагрузки в сети, а также несимметрии напряжений фаз относительно земли. В табл. 1 приведен полученный сравнительный анализ результатов исследования в компьютерной модели.

В табл. 1 приняты следующие обозначения:

Таблица 1

**Относительная погрешность  $\delta R_\phi$  и  $\delta C_\Sigma$  определения параметров изоляции**

| Расчетные формулы |                                                                                                                                                                                                  | Напряжения несимметрия, % |       |       |       |       |       |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                                                                                                                                                                                                  | 0                         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1                 | $C_\Sigma = \Delta C \cdot \left( \frac{U_\phi}{U_{01,1}} \cdot \cos \varphi - 1 \right)$                                                                                                        | -0,06                     | 8,24  | 16    | 23,3  | 39,7  | 48,9  |
|                   | $R_\phi = \frac{U_{01,1}}{U_\phi \cdot \omega \cdot \Delta C \cdot \sin \varphi}$                                                                                                                | -0,8                      | 24    | 34,1  | 39,4  | 46,7  | 48,3  |
| 2                 | $C_\Sigma = \Delta C \cdot \frac{U'_A / U'_\phi}{U_A / U_\phi - U'_A / U'_\phi}$                                                                                                                 | -8,18                     | -7,27 | -6,49 | -5,42 | -6,11 | -7,18 |
|                   | $R_\phi = \frac{U_{01,1}}{U_\phi \cdot \omega \cdot \Delta C \cdot \sin \varphi}$                                                                                                                | 7,57                      | 6,77  | 5,98  | 5,14  | 5,76  | 7,65  |
| 3                 | $C_\Sigma = \Delta C \cdot \left( \frac{U_\phi}{U_{01,1}} \cdot \cos \varphi - 1 \right)$                                                                                                        | -0,07                     | 6,775 | 15,83 | 39,46 | 39,72 | 48,94 |
|                   | $R_{из} = \frac{U_{01,1}}{U_\phi \cdot \omega \cdot \Delta C \cdot \sin \varphi}$<br>$\varphi = \arccos \left( \frac{U_\phi^2 + U_{01,1}^2 - U_{1,01}^2}{2 \cdot U_\phi \cdot U_{01,1}} \right)$ | -0,8                      | 8,206 | 33,58 | 21,86 | 46,71 | 48,27 |

Данные о погрешности (в %) измерений различными методами.

$C_\Sigma$  – суммарная емкость сети относительно земли;

$\Delta C$  – дополнительная емкость, подключаемая к одной из фаз сети;

$U_\phi$  – фазное напряжение сети, В;

$U_{01,1}$  – напряжение смещения нейтрали при подключении дополнительной емкости, В;

$U'_A / U'_\phi$ ,  $U_A / U_\phi$  – фазное и линейное напряжение, измеряемое соответственно до и после подключения дополнительной емкости, В;

$R_\phi$  – активное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  – круговая частота сети,

$$\cos \varphi = \frac{U_\phi^2 + U_{01,0}^2 - U_{1,01}^2}{2 \cdot U_\phi \cdot U_{01,0}}.$$

Анализ экспериментальных данных, представленных в табл. 1, подтверждает, что второй метод (вторая форму-

ла) [5] является предпочтительнее и может быть использован в электрических сетях с изолированной нейтралью и при симметрии напряжений фаз сети относительно земли, и при несимметрии указанных напряжений (погрешность не более 8,23 %). Известно, что в КРС всегда наблюдается несимметрия, следовательно, применение второй методики дает наименьшую погрешность (не более 8,2 %) и может быть использовано в электрических сетях с изолированной нейтралью.

Таким образом, при подключении к одной из фаз дополнительной емкости можно определить суммарную емкость сети относительно земли, активное сопротивление изоляции фазы сети относительно земли, а также активную и емкостную составляющие тока однофазного замыкания на землю.



**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л.В. Гладилин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацезев, Н.И. Чеботаев. – М.: Недра, 1977. – 327 с.
2. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.М. Маврицын, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
3. **Сидоров А.И.** Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 24–29.
4. **Сидоров А.И.** Исследование косвенных методов определения параметров изоляции на компьютерной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев, Ю.В. Медведева, Ш.С. Саъдуллозода // Вестник НЦ ВостНИИ по промыш. и экологичес. безопасности – 2021. – № 1. – С. 47–54.
5. **Сидоров А.И.** Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах: дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: 05.26.01 / Сидоров Александр Иванович. – Челябинск, 1993. – 444 с.
6. **Бобоев Х.Д.** Параметры изоляции относительно земли в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / Х.Д. Бобоев, А.В. Богданов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 29–37.
7. **Бобоев Х.Д.** Характеристика сопротивления изоляции в электрических сетях Республики Таджикистан // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2021 – Т. 1. – С. 25–29.
8. **Бобоев Х.Д.** Анализ методов контроля изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ // Техносферная безопасность в XXI веке. IX Всероссийская научно-практическая конференция: сборник научных трудов магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск: Изд-во ИРНТИУ, 2019. – С. 234–239.
9. **Сидоров А.И.** Оценка косвенных методов контроля изоляции в карьерных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика: матер. национальной науч. конф. Института агроинженерии / под ред. д-ра биол. наук, доцента С.А. Гриценко. – Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2020. – С. 166–171.
10. **Бобоев Х.Д.** Определение параметров изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ // Актуальные проблемы недропользования: материалы сборника XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов. – СПб.: Изд-во СПГУ, 2021. – Т. 5. – С. 177–178.
11. **Сидоров А.И.** Анализ методов исследования параметров изоляции электрических сетей напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Экология. Риск. Безопасность: материалы Всероссийской научно-практической конференции / отв. ред. С.К. Белякин. – Курган: Изд-во КГУ, 2020. – С. 273–275.
12. **Бобоев Х.Д.** Сравнительный анализ различных методов определения параметров изоляции фаз сети относительно земли в программной среде MATLAB/SIMULINK // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2021 – Т. 1. – С. 22–25.
13. Методика измерения емкостных токов однофазного замыкания на землю в электрических сетях напряжением 6...10 кВ / Петров О.А., Сидоров А.И., Сельницын А.А. – Челябинск, 1990. – 24 с.
14. **Бобоев Х.Д.** Значение изоляции в обеспечении электробезопасности в сетях напряжением до 1000 В горнодобывающих предприятиях // Казанские научные чтения студентов и аспирантов им. В.Г. Тимирязова – 2018: Материалы Международной научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной 25-летию образования университета. – Казань: Изд-во «Познание» КИУ, 2018. – С. 174–175.
15. **Сидоров А.И.** Компьютерная модель карьерной распределительной сети. Исследование параметров изоляции сетей с изо-

лированной нейтралью [Текст] / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // В сб.: Безопасность технологических процессов и производств. Труды III Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2021. – С. 85–87.

16. **Сидоров, А.И.** Имитационная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Научный поиск: Материалы XII научной конференции аспирантов и докторантов. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2020. – С. 18–22.

17. **Boboev Kh.D.** Determining Ground Insulation Parameters in Quarry Distribution Networks of Mining Companies in Tajikistan / Kh.D. Boboev, A. I Sidorov, O.A. Khanzhina // 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – Chelyabinsk, 2020. – Pp. 344–348.

18. **Бобоев Х.Д.** Величины сопротивления, образующих цепь включения человека

в карьерную электрическую сеть напряжением 380 В // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: Сборник материалов V Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2019 – Т. 1. – С. 27–30.

19. **Лапченков К.В.** Управление состоянием изоляции в распределительных электрических сетях: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.26.01 / Лапченков Константин Владимирович. – Челябинск, 1998. – 120 с.

20. **ГОСТ 32144–2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

## НАДЕЖНЫЙ ПРОВОДНИК В МИРЕ ПРИБОРОВ И АВТОМАТИКИ

kip.panor.ru

Производственно-технический журнал «КИП и автоматика: обслуживание и ремонт» для специалистов в области приборостроения, систем промышленной автоматизации, измерительных технологий, компьютерной техники.

Без эффективного обслуживания и ремонта систем КИП и автоматики невозможно организовать современное производство промышленной продукции, обеспечить внедрение новой техники и инновационных технологий. Во всех тонкостях этой работы поможет разобраться данное издание.

### Наши эксперты и авторы:

**Пахомов В.И.**, ПО «Спецавтоматика»; **Вьюгов Д.А.**, ООО «КИП-сервис»; «Систем Сенсор Фаир Детекторс», **Неплохов И.Н.**, канд. техн. наук; **Телитченко Г.И.** и **Швецов В.Н.**, ВНИИ метрологии; **Алексеев А.А.**, ЗАО «ЭМИКОН»; **Громов Д.Н.**, НПФ «КонтраВТ»; **Леонов Г.В.**, КубГТУ; **Никоненко В.А.**, заслуженный метролог России, ОАО НПП «Эталон»; **Примеров М.С.**, канд. техн. наук; ЗАО «РТ-Софт»; **Андреев В.С.**, ОАО «Элара» и многие другие специалисты в области КИПиА.

**Председатель редакционного совета журнала** — проф. **Красовский В.Е.**, ученый секретарь Института электронных управляющих машин им. И.С. Брука.

Издается при информационной поддержке Российской инженерной академии, Института электронных управляющих машин, ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева, ВНИИ метрологической службы и Союза машиностроителей.

Ежемесячное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Рынок аппаратуры
- Измерительные технологии и оборудование
- Интегрированные датчики
- Бесконтактные измерения
- Автоматизация
- Автоматика
- Обслуживание и ремонт
- Советы профессионалов
- Метрология

**КИП и  
АВТОМАТИКА**  
ОБСЛУЖИВАНИЕ  
И РЕМОНТ



### ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ



**84818**



**П7210**

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

УДК 658.382

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 КВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

**Бобоев Х. Д.**, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности

E-mail: khboboev-93@mail.ru,

**Давлатов А. М.**, аспирант кафедры теоретических основ электротехники

E-mail: davlatov\_azam@bk.ru

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,

**Косимов Б. И.**, канд. техн. наук, зав. кафедрой электрических станций

E-mail: kosimov.energy@mail.ru

Институт энергетики Таджикистана, г. Бохтар

В статье рассматривается уровень изоляции ряда распределительных электрических сетей напряжением 6–10 кВ в Республике Таджикистан. Параметры изоляции относительно земли были определены расчетным путем на основании методик, разработанных на кафедре «Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета. Полученные данные необходимы для выбора средства обеспечения безопасности и оценки уровня безопасности.

**Ключевые слова:** параметры изоляции, распределительная электрическая сеть, активное и емкостное сопротивление изоляции сети относительно земли.

## GENERAL CHARACTERISTICS OF INSULATION RESISTANCE RELATIVE TO THE GROUND IN NETWORKS WITH A VOLTAGE OF 6–10 KV OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

**Boboev K. D.**, assistant of the department relay protection and automation,

**Davlatov A. M.**, assistant of the department relay protection and automation,  
Southern Ural State University, city of Chelyabinsk,

**Kosimov B. I.**, PhD of technical sciences, head of the department electric stations,  
Tajikistan Power Energy Institute, Bokhtar, Tajikistan

The article considers the level of insulation of a number of distribution electric networks with a voltage of 6–10 kV in the Republic of Tajikistan. The insulation parameters relative to the ground were determined by calculation on the basis of methods developed at the Department of "Life Safety" of the South Ural State Uni-

versity. The data obtained is necessary for choosing a security tool and evaluating the level of security.

**Keywords:** insulation parameters, electrical distribution network, active and capacitive resistances of the network insulation relative to the ground.

**И**золяция – главнейшее средство электробезопасности. Как средство защиты изоляция исключает возможность создания последовательно с телом человека элементов, обладающих любой величиной, при которой электрической ток не превышает значений, опасных для человека.

Состояние изоляции электрооборудования определяет надежность работы электроустановок [1–3]. Повреждения изоляции являются часто основной причиной многих несчастных случаев [2, 4, 5]. Основными параметрами, характеризующими состояние изоляции, являются полное  $Z_{из}$ , активное  $R_{из}$ , емкостное  $C_{из}$  и омическое сопротивление изоляции  $R_{ом}$ . В состав профилактики неисправностей электроустановок важнейшей составной частью входит контроль изоляции [4, 6, 7].

Для построения системы контроля изоляции необходимо знать минимально возможный уровень сопротивления изоляции фаз сети относительно земли, последнее для точной настройки и организации селективной защиты от однофазных замыканий на землю. В нормативных документах ЕПБ, ПТЭ и ПТБ не нормируется величина сопротивления изоляции фаз сети относительно земли, это зависит от конкретных условий эксплуатации какой-либо сети, от протяженности, разветвленности и т. д. [6, 8].

Нормативными актами распределительных электрических сетей не разделяются по принадлежности к различным отраслям промышленности, но в силу специфических особенностей можно выделить следующие виды распределительных электрических сетей: карьерные электрические сети; городские электрические сети; сельские электрические сети. электрические сети промышленных предприятий.

Определим уровень сопротивления изоляции относительно земли в распределительных электрических сетях на основе имеющихся исходных данных о схемах электроснабжения предприятий Республики Таджикистан [2, 9, 10]. На основе данных о протяженности воздушных и кабельных линий определен уровень изоляции в распределительных электрических сетях Республики Таджикистан (РТ) [11].

Вначале рассчитывается ожидаемый емкостный ток однофазного замыкания на землю по формуле:

$$I_c = \frac{U_{\text{л}}}{350} \cdot (35I_K + I_B), \quad (1)$$

где  $U_{\text{л}}$  – линейное напряжение сети, кВ;  
 $I_K, I_B$  – суммарная длина электрически связанных кабельных и воздушных линий, км.

Определяем по формуле (2) суммарную емкость сети относительно земли ( $C_{\Sigma}$ ).

$$\Delta C = \frac{I \cdot 10^6}{\omega \cdot U}, \quad (2)$$

здесь  $\omega$  – круговая частота напряжения сети,  $\text{с}^{-1}$ .

Параметры сопротивления изоляции сети относительно земли определяются:

$$X_c = \frac{1}{\omega C_{\Sigma}}; \quad R = \frac{1}{d\omega C_{\Sigma}}, \quad (3)$$

где  $X_c$  – реактивное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли;

$R$  – активное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли;

$d$  – коэффициент успокоения сети, который зависит от вида сети.

Для сетей, состоящих преимущественно из кабельных линий,  $d = 0,03–0,05$ , для сетей, состоящих преимущественно из воздушных линий,  $d = 0,3–0,5$ .



Таблица 1

| Предприятие                  | Значения параметров изоляции фазы сети относительно земли |                             |                          |                          |                    |                       |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
|                              | $U_{лр}$ ,<br>кВ                                          | $R$ , Ом, при $d$ , равном: |                          |                          | $C_{\Sigma}$ , мкФ | $X_{\Sigma}$ , Ом     |
|                              |                                                           | <div>0,3<br/>0,03</div>     | <div>0,4<br/>0,04</div>  | <div>0,5<br/>0,05</div>  |                    |                       |
| Карьерные электрические сети |                                                           |                             |                          |                          |                    |                       |
| ООО СП «Зеравшан»            | 6                                                         | 9231,05–<br>48 253,23       | 6293,29–<br>36 189,92    | 5538,63–<br>28 951,94    | 0,22–1,15          | 2769,3–<br>14 475,97  |
| СТК ООО «Апрелевка»          | 6                                                         | 7922,17–<br>70 771,4        | 5941,63–<br>53 078,55    | 4753,3–<br>42 462,84     | 0,15–1,34          | 2376,6–<br>21 231,42  |
| ГКРП «Тиллои Тоджик»         | 6                                                         | 13 269,63–<br>53 078,5      | 9952,23–<br>39 808,91    | 7961,78–<br>31 847,13    | 0,2–0,8            | 3980,8–<br>15 923,57  |
| Городские электрические сети |                                                           |                             |                          |                          |                    |                       |
| Душанбе                      | 10                                                        | 5852,1–<br>16 717,65        | 4389,07–<br>12 536,24    | 3511,26–<br>10 030,59    | 6,35–18,14         | 175,56–<br>501,53     |
| Бохтар                       | 10                                                        | 6984,02–<br>22 878,69       | 5238,01–<br>17 159,01    | 4190,41–<br>13 727,21    | 4,64–15,2          | 209,52–<br>686,36     |
| Куляб                        | 10                                                        | 3015–<br>37 913,3           | 2262–<br>28 435          | 1809,5–<br>22 748        | 1,28–3,52          | 904,7–<br>11 374      |
| Согд                         | 10                                                        | 3640,2–<br>123 800          | 2730,85–<br>94 255,23    | 2197,89–<br>76 125       | 1,68–4,25          | 2675,8–<br>72 401,12  |
| Сельские электрические сети  |                                                           |                             |                          |                          |                    |                       |
| Могиев                       | 6                                                         | 15 611,34–<br>212 314,22    | 11 708,5–<br>159 235,66  | 9366,8–<br>127 388,53    | 0,05–0,68          | 4683,4–<br>63 694,26  |
| Саричашма                    | 6                                                         | 31 222,68–<br>112 933,1     | 23 417,01–<br>84 699,82  | 18 733,6–<br>67 759,85   | 0,094–0,34         | 9366,8–<br>33 879,93  |
| Заргар                       | 10                                                        | 48 253,23–<br>331 740,97    | 36 189,92–<br>248 805,73 | 28 951,94–<br>199 044,58 | 0,032–0,22         | 14 476–<br>99 522,3   |
| Чаган                        | 6                                                         | 72 379,5–<br>497 611        | 54 280,38–<br>37 320,75  | 43 427,91–<br>298 567    | 0,048–0,37         | 21 714–<br>149 283,45 |

Результаты граничных значений параметров изоляции фазы сети относительно земли в распределительных электрических сетях разной принадлежности представлены в табл. 1.

Проведенный анализ показал, что самый низкий уровень изоляции фаз сети относительно земли наблюдается в городских распределительных электрических сетях, а самый высокий в сельских распределительных сетях, что объясняется, во-первых, меньшей протяженностью линий, а, во-вторых, наличием в таких сетях воздушных линий.

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования методики выбора уставки при построении системы контроля изоляции в указанных сетях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бобоев Х.Д.** Параметры изоляции относительно земли в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / Х.Д. Бобоев, А.В. Богданов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 29–37.
2. **Сидоров А.И.** Анализ методов исследования параметров изоляции электрических сетей напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Экология. Риск. Безопасность: материалы Всероссийской научно-практической конференции / отв. ред. С. К. Белякин. – Курган: Изд-во КГУ, 2020. – С. 273–275.
3. **Сидоров А.И.** Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели / А.И. Сидоров,

Х.Д. Бобоев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 24–29.

4. **Бобоев Х.Д.** Анализ методов контроля изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ / Х.Д. Бобоев // Техносферная безопасность в XXI веке. IX Всероссийская научно-практическая конференция: сборник научных трудов магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2019. – С. 234–239.

5. **Сидоров А.И.** Исследование косвенных методов определения параметров изоляции на компьютерной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев, Ю.В. Медведева, Ш.С. Саъдуллозода // Вестник НЦ ВостНИИ по промыш. и экологической безопасности – 2021. – № 1. – С. 47–54.

6. **Boboev Kh.D.** Determining Ground Insulation Parameters in Quarry Distribution Networks of Mining Companies in Tajikistan / Kh.D. Boboev, A. I Sidorov, O.A. Khanzhina // 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – Chelyabinsk, 2020. – Pp. 344–348.

7. **Сидоров А.И.** Оценка косвенных методов контроля изоляции в карьерных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика: матер. национальной науч. конф. Института агроинженерии / под ред. д-ра биол. наук, доцента С.А. Гриценко. –

Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2020. – С. 166–171.

8. **Бобоев Х.Д.** Характеристика сопротивления изоляции электрических сетей Республики Таджикистан // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2021. – Т. 1. – С. 25–29.

9. **Сидоров А.И.** Характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан [Текст] / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2019. – С. 166–169.

10. **Бобоев Х.Д.** Определение параметров изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ / Х.Д. Бобоев // Актуальные проблемы недропользования: материалы сборника XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов. – СПб.: Изд-во СПГУ, 2021. – Т. 5. – С. 177–178.

11. **Сидоров А.И.** Имитационная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Научный поиск: Материалы XII научной конференции аспирантов и докторантов. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2020. – С. 18–22.

## НА ПУТИ К ЭФФЕКТИВНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ!

[linteh.panor.ru](http://linteh.panor.ru)

Научно-практический журнал  
«ЛИН-технологии: бережливое  
производство» по вопросам оптимизации производственного процесса, снижения издержек и себестоимости продукции.

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Лин-технологии в антикризисном менеджменте.
- Лин-школа.
- Ресурсосбережение.

Распространяется  
по подписке

и на отраслевых мероприятиях.

подписные индексы



**80871**



**П7214**



На правах рекламы

УДК 621.311

# СОСТОЯНИЕ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН И АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ СТРУКТУР МИНИ-ГЭС

**Давлатов А. М.**, аспирант кафедры теоретических основ электротехники

E-mail: davlatov\_azam@bk.ru,

**Бобоев Х. Д.**, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности

E-mail: khboboev-93@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,

**Косимов Б. И.**, канд. техн. наук, зав. кафедрой электрических станций

E-mail: kosimov.energy@mail.ru,

Институт энергетики Таджикистана, г. Бохтар

В статье приводится краткая справка по истории развития электроэнергетики в Таджикистане. Показано, что во многих труднодоступных горных районах подключение бытовых потребителей, кишлаков с небольшим количеством населения, оказывается либо экономически нецелесообразно, либо вообще невозможно из-за сложного горного рельефа местности, не позволяющего провести линию электропередачи. Приводятся структурные схемы построения малых и микро-ГЭС, на основании анализа которых делается вывод о необходимости их упрощения за счет сокращения числа функциональных узлов и расширения их функций.

**Ключевые слова:** мини-ГЭС, малые реки, системы возбуждения, регулятор турбины, диагностика.

## THE STATE OF SMALL-SCALE ENERGY IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN AND THE ANALYSIS OF TRADITIONAL STRUCTURES OF MINI-HYDROELECTRIC POWER PLANTS

**Davlatov A. M.**, assistant of the department relay protection and automation,

**Boboev K. D.**, assistant of the department relay protection and automation,

Southern Ural State University, city of Chelyabinsk,

**Kosimov B. I.**, PhD of technical sciences, head of the department electric stations,

Tajikistan Power Energy Institute, Bokhtar, Tajikistan

The article provides a brief reference on the history of the development of the electric power industry in Tajikistan. It is shown that in many remote mountainous areas, the connection of household consumers, villages with a small population, is either economically impractical or impossible at all due to the complex mountain-

*ous terrain that does not allow to conduct a power line. Structural schemes for the construction of small and micro-hydroelectric power plants are presented, based on the analysis of which it is concluded that they need to be simplified by reducing the number of functional nodes and expanding their functions.*

**Keywords:** mini hydroelectric power plants, small rivers, excitation systems, turbine regulator, diagnostics.

В Таджикистане в начале XX в. в связи с отсутствием промышленных предприятий электричество почти не использовалось. Были малые предприятия, которые функционировали за счет выработки электроэнергии автономных электростанций (дизельный генератор), находящихся на их территории. Такие как известной малой фабрики «САНТО», построенной в 1907 г. мощностью 365,78 кВт в районе Исфара.

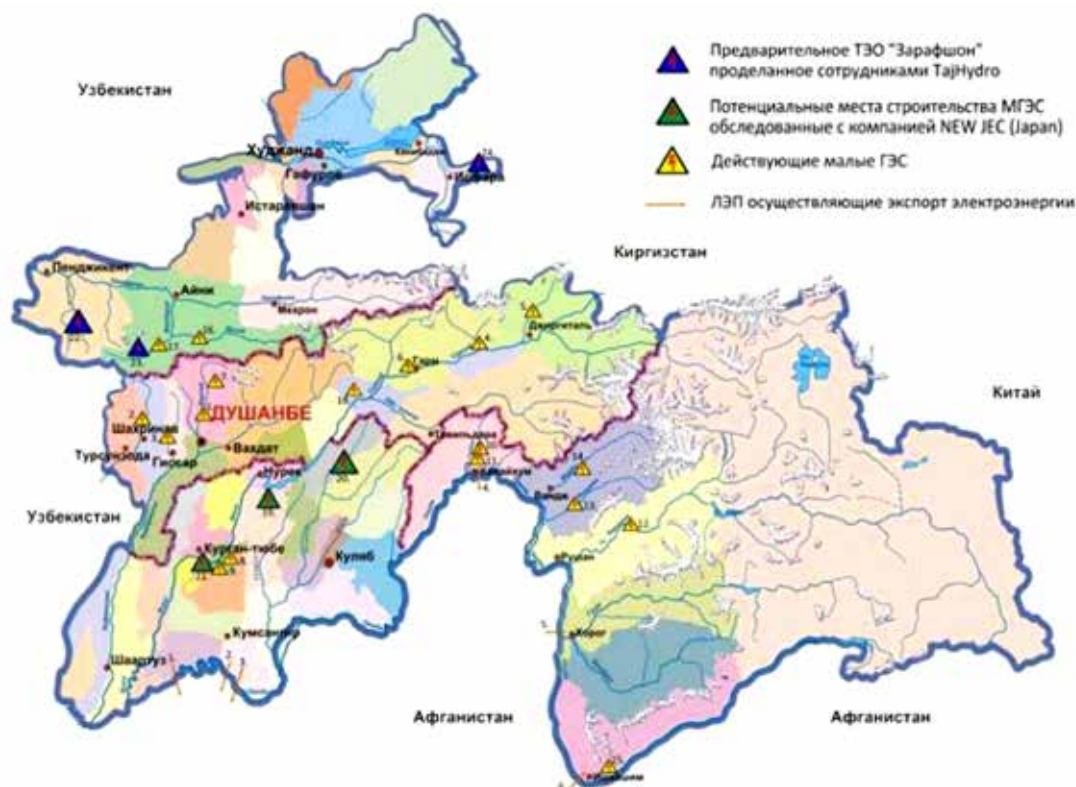
Первая электростанция в Таджикистане была построена в 1913 г. на р. Гунд, г. Харог, для обеспечения электрического освещения пограничной службы данного города [1–3].

Для обеспечения центра страны электричеством в 1927 г. планировалось построение новых электрических станций

на р. Варзоб. 25 февраля 1931 г. было начато строительство гидроэлектростанции Варзоб мощностью 7200 кВт. Таким образом, строительство названной электростанций заняло 6 лет, и 31 декабря 1936 г. станция запущена в эксплуатацию.

В последние годы в стране построено несколько электростанций (Шаартуз, Исфара, Канибадам и др.) суммарной мощностью более чем на 17,3 МВт. В 1949 г. в составе каскада Варзоб появилась вторая электростанция мощностью 14,4 МВт, Варзобская ГЭС-2. А в 1952 г. была сдана в эксплуатацию Варзобская ГЭС-3 мощностью около 3,5 МВт.

В Республике Таджикистан актуальными народнохозяйственными задачами являются обеспечения электроэнергией ряда отдаленных и труднодоступных рай-





онов, а также выработка электроэнергии на ГЭС без отрицательного воздействия на экологию. Кроме того, важной задачей является использование для выработки электроэнергии гидропотенциала искусственных водотоков, созданных для нужд сельского хозяйства [4, 5].

На данный момент в республике находится масса потребителей, находящихся в дальних районах горной местности (в основном населенные пункты) [6, 7]. На схеме показана карта рек и водохранилищ в Республике Таджикистан и потенциальных мест для небольших гидроэлектростанций, а также малых гидроэлектростанций.

Например, село Сангикар в Раштском районе численностью населения более 200 чел. находится на расстоянии 40 км от центра района, в котором находится подстанция «Племсовхоз 110/10 кВ». Село Сари Осеб в Ховалинском районе находится на дальнем расстоянии от ближайшей подстанции. Расстояние от населенного пункта Сари Осиеб до подстанции «Ховалинг 35/10 кВ» составляет около 50 км. Численность населения данного села составляет около 150 чел. [8, 9].

Деревня Марзич Айнийского района расположена на расстоянии 35 км от ближайшей подстанции «Айни 35/10 кВ», которая находится в центре района. В данной деревне живут более 150 чел. Труднодоступные места в горных районах Республики Таджикистан приведены в табл. 1.

Таким образом, подключение указанных населенных пунктов к энергосистеме линией напряжением 6 или 10 кВ экономически невыгодно. Также существует ряд проблем, связанных с горным рельефом территории Таджикистана. Развитие малой энергетики в далеких селах Республики Таджикистан является решением проблемы электроснабжения населенных пунктов горной местности страны. Установка автономных источников электроэнергии при таких условиях позволяет устранить имеющиеся недостатки.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ МАЛОЙ ГЭС «ПАЧРУД» ПАНДЖАКЕНСКОГО РАЙОНА

Установленная мощность – 500 кВт; количество агрегатов – 1; давление – Н-58м; место расположения – 2100 м над уровнем моря; расход воды –  $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ ; тип – турбина радиально-осевая; скорость вращения – 1000 об./мин.; напряжение генератора – 380 В.

Для этого рассмотрим традиционную структуру мини-ГЭС (рис. 1). Кроме плотины и подводящего трубопровода она содержит известные составные элементы [10]:

- вентиль (В);
- турбина радиальная осевая (Т);
- подшипник скольжения (ПС);
- муфты (ПМ);
- маховик (М);
- ручной тормоз (РТ);

Таблица 1

#### Труднодоступные места в горных районах Республики Таджикистан

| № | Населенные пункты | Расстояния населенных пунктов от центра района | Потребитель | Мощность ГЭС |
|---|-------------------|------------------------------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Булнкуль          | 90                                             | 32          | 25           |
| 2 | Пасор             | 125                                            | 27          | 20           |
| 3 | Хиндукуш-1        | 105                                            | 23          | 20           |
| 4 | Хиндукуш-2        | 116                                            | 33          | 32           |
| 5 | Хавдж             | 130                                            | 18          | 20           |

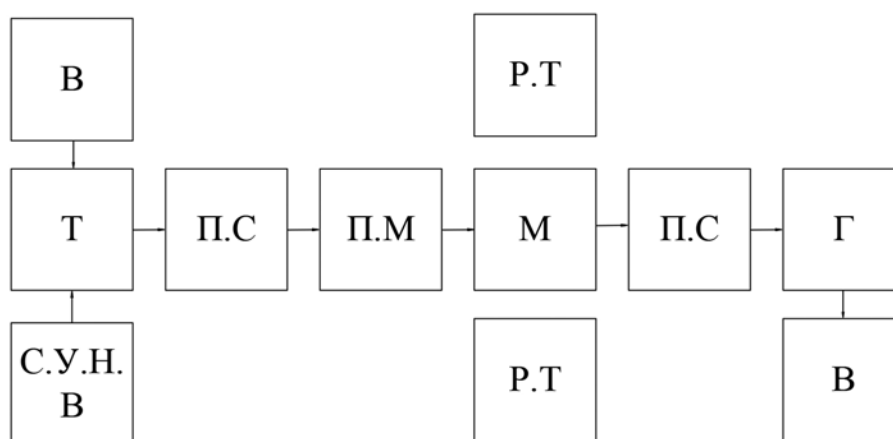


Рис. 1. Традиционная схема мини-ГЭС

- генератор (Г);
- возбудитель (В);
- система управления направлявших ворот (СУНВ).

Малая ГЭС «Панчруд», расположена в Панджакенском районе. На этой станции работают 4 человека, заработная плата зависит от должности. Один из этих рабочих для контроля и уровня водного канала, а другие – суточные дежурные станции, а зарплата этих работников составляет 600 сомони. Раньше они дежурили 24 часа, а сейчас 12 часов, средняя зарплата этих работников составляет 600 сомони, начальник смены получает 900 сомони. Всего 2700 сомони.

### МАЛАЯ ГЭС «АРТУЧ»

Малая ГЭС «Артуч» состоит из одного гидроагрегата с номинальной мощностью 500 кВт, находится в поселке Артуч Панджакенского района. В 2008 г. станция была сдана в эксплуатацию (при поддержке «Барки точик»). Стоимость проекта составляла 500 000 долл. США.

В настоящее время станция находится в эксплуатации, и в течение десяти месяцев этого года выработано 36 860 кВт/ч электроэнергии. Рассмотрим традиционную структуру мини-ГЭС (рис. 2). Кроме плотины (П) и подводящего трубопровода (ПТ) она содержит известные составные элементы:

- гидротурбина (ГТ);

- генератор (Г);
- коммутационно-защитная и распределительная аппаратура (КРА);
- тиристорное устройство возбуждения (ТУВ);

- привод затвора турбины (ПЗТ);
- привод разгонный турбины (ПРТ);
- регулятор турбины (РТ);
- регулятор возбуждения (РЗ).

Малая ГЭС «Артуч» расположена в Панджакенском районе. На этой станции работают 5 человек, заработная плата зависит от должности. Персонал выполняет разные виды работ, например, кто-то из них следит за контролем уровня водного канала, а зарплата этих работников составляет 600 сомони. Раньше они дежурили 24 часа, а сейчас 12 часов, а средняя зарплата этих работников составляет 750 сомони, а начальник смены получает 1300 сомони. Всего 3400 с.

В Таджикистане много малых рек, на которых построены микро- и малые ГЭС, однако, эти электростанции в связи с выходом из строя ряда особо важных элементов не эксплуатируются. Чаще всего из строя выходят: регулятор напряжения, регулятор уровней воды в верхнем бьефе и нижнем бьефе, привод разгонный турбины, регулятор турбины, коммутационно-защитная и распределительная аппаратура и т. д.

В связи с этим более перспективным может оказаться применение простейших микро-ГЭС, в которых указанные регуля-

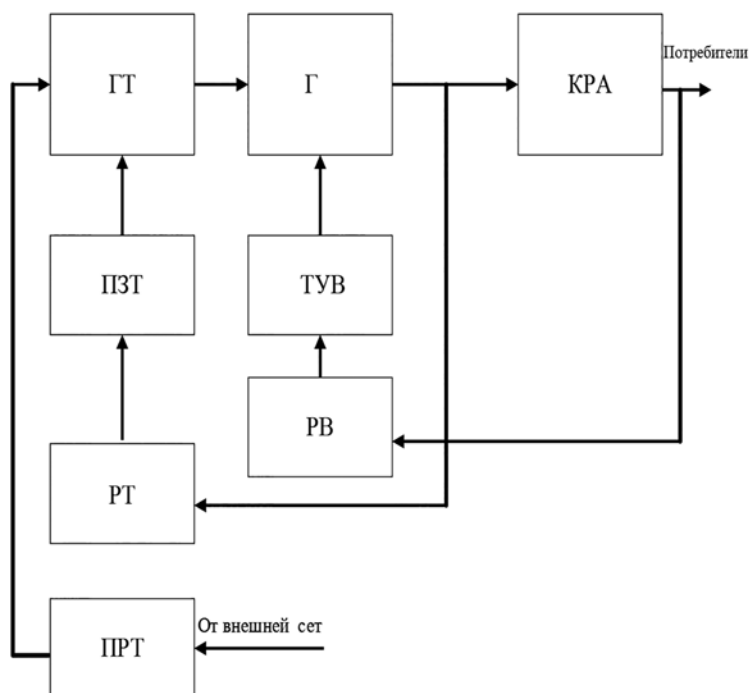


Рис. 2. Традиционная схема мини-ГЭС

торы отсутствуют. Тогда функциональная схема ГЭС содержит минимум элементов – трубопровод, турбину, генератор, электронное устройство управления диагностики и преобразования энергии. Это существенно повышает надежность ГЭС и позволяет эксплуатировать ее в автономном необслуживаемом режиме.

Одним из наиболее целесообразных путей повышения надежности автономных энергоустановок в виде мини-ГЭС является реализация их на основе конструктивно простых, бесконтактных и нерегулируемых устройств первичного преобразования энергии – турбины в виде центробежного насоса и генератора в виде синхронной бесконтактной машины.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие электроэнергетики Содружества Независимых Государств: хронология важнейших событий. – М., 2006. – 203 с.
2. **Voronin S.** Development directions of power supply for rural areas of Tajikistan / S. Voronin, A. Davlatov, B. Kosimov // Proceedings – 2019 International Ural Conference on

Electrical Power Engineering, UralCon 2019, Chelyabinsk, 1–3 октября 2019 года. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 157–161.

3. **Сидоров А.И.** Характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2019. – С. 166–169.

4. Стратегия развития малой гидроэнергетики Республики Таджикистан, Министерство энергетики и промышленности Республики Таджикистан, офис ПРООН в Республике Таджикистан, Душанбе, декабрь 2007–2013 гг.

5. **Исмоилов Ф.О.** Комплексное использование возобновляемых источников энергии для электроснабжения автономных потребителей Республики Таджикистана: дисс. ... канд. техн. наук // Национальный исследовательский университет «МЭИ». – М., 2012.

6. **Бобоев Х.Д.** Параметры изоляции относительно земли в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан [Текст] / Х.Д. Бобоев,

А.В. Богданов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 29–37.

7. **Бобоев Х.Д.** Характеристика сопротивления изоляции в электрических сетях Республики Таджикистан [Текст] // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2021 – Т. 1. – С. 25–29.

8. Сравнительная оценка схем соединения обмоток синхронных генераторов в составе источников постоянного тока / С.Г. Воронин, Н.В. Клиначев, А.М. Давлатов, Д.В. Пауков //

Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2020. – Т. 20. – № 3. – С. 110–118.

9. **Воронин С.Г.** Автоматизированная мини-ГЭС как основа системы электроснабжения горных районов Таджикистана / С.Г. Воронин, А.М. Давлатов. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 100–107.

10. **Давлатов А.М.** Тенденция развития малых ГЭС в горных регионах Республики Таджикистан // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов, Москва, 12–13 марта 2020 г. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг "РАДУГА"», 2020. – С. 1099.

## ЛУЧШИЕ ИДЕИ. ЛУЧШИЙ ОПЫТ

gd.panor.ru

**ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР** УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ



На правах рекламы

подписные индексы



82714



П7310

Журнал «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» освещает актуальные вопросы управления производством, практический опыт лучших российских и зарубежных предприятий.

Отличительная особенность журнала «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» — практическая направленность и прикладной характер публикуемых материалов, их нацеленность на решение конкретных вопросов, возникающих в процессе управления промышленным предприятием.

**Наши эксперты и авторы:** **Адлер Ю.П.**, президент Международной гильдии профессионалов качества; **Бережной А.А.**, гендиректор компании ЗАО «Ральф Рингер»; **Быков В.А.**, профессор РАНХиГС; **Верещагин В.В.**, президент общества «РусРиск»; **Гутнев В.В.**, Первый зампредседателя Комитета ГД РФ по промышленности, Первый вице-президент Союза машиностроителей России; **Емельянова Е.Л.**, президент Ассоциации межрегиональных маркетинговых центров; **Жданкин Н.А.**, д-р техн. наук, академик РАЕН, профессор НИТУ «МИСиС», президент ООО «РЕГУЛ-КОНСАЛТ»; **Кушнарев А.В.**, управляющий директор ОАО «Нижегородский металлургический комбинат»; **Москаленко К.А.**, президент Академии общественно-экономических наук и предпринимательской деятельности, академик; **Поляков И.В.**, гендиректор Омского производственного объединения «Радиозавод им. А.С. Попова»; **Спири-**

**чев В.А.** гендиректор ЗАО «Валетек»; **Фролов Е.Б.**, д-р техн. наук, профессор МГТУ «СТАНКИН»; **Юрьев А.Б.**, управляющий директор Новокузнецкого металлургического комбината, а также руководители министерств и ведомств, руководители комитетов ТПП РФ и РСПП, Комитета ГД РФ по экономической политике и предпринимательству, ведущие эксперты в области управления, технической политике, финансов, экономической безопасности.

Журнал издается при информационной поддержке РСПП, ТПП РФ, Института статистических исследований и экономики знаний ГУ-ВШЭ, Русского общества управления рисками.

**Ежемесячное полноцветное издание.**

**Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.**

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Менеджмент инноваций
- Техническая политика
- Антикризисное управление
- Управление финансами
- Стратегический менеджмент
- Управление качеством
- Экономическая безопасность
- Риск-менеджмент
- Арбитражная практика
- Зарубежный опыт
- Нормирование, организация и оплата труда
- Психология управления

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).



# СОВРЕМЕННОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В СТРАНАХ МИРА

**Фиговский О. Л., академик, Израиль**

*Технические специальности относятся к числу самых востребованных профессий в мире. Спрос на них возрастает. Какие университеты мира дают лучшее техническое образование, и как готовить кадры высококвалифицированных инженеров.*

**Ключевые слова:** инженерное образование, университет, прогресс, инновации.

## MODERN ENGINEERING EDUCATION IN THE COUNTRIES OF THE WORLD

**Figovsky O. L., academician, Israel**

*Technical specialties are among the most popular professions in the world. The demand for them is increasing. Which universities in the world provide the best technical education, and how to train highly qualified engineers.*

**Keywords:** engineering education, university, progress, innovation.

На постсоветском пространстве и, прежде всего в Украине и России, отмечается значительный упадок инженерного образования. По мнению украинского писателя, харьковчанина Константина Кеворкяна, Украине категорически не нужен всесторонне развитый гражданин: чем хуже образован человек, тем меньше вопросов он будет задавать действующей власти, тем податливее к пропагандистским манипуляциям окажется. Хорошее и плохое образование для разных социальных классов – это прямой путь к построению кастового общества. Аналогично в трех статьях, опубликованных в журнале «Атомная стратегия» за последние годы, проф. А. Я. Благовещенский (Военно-морской политехнический институт ВУНЦ) не раз отмечал разрушительный характер реформирования инженерного образования России. Я солидарен с выводами авторов, о чем не раз писал ранее. В связи с вышеизложенным я хотел бы ознакомить читателя с системами инженерного образования в ведущих странах мира.

Вопрос о том, как готовить кадры высококвалифицированных инженеров, важнейшая государственная задача, которая стоит сейчас перед системой высшего инженерного образования Китая. Сегодня Китай – страна прогресса и инноваций. Научные достижения китайских ученых ценятся во всем мире, их разработки активно внедряются в повседневную жизнь. В Китае крупнейший рынок робототехники; территорию страны бороздят новейшие поезда со скоростью 487,3 км/ч; ТОП-5 мировых производителей смартфонов включает 3 китайские компании.

Технические университеты Китая получают одно из лучших материальных обеспечений в мире. Они своевременно оснащаются новейшими разработками в области техники, а также дают возможность стажироваться в сотрудничестве с мировыми лидерами инноваций. Студенты сами могут проектировать новинки и получать патенты на свои изобретения. Практика во время обучения приносит многим готовые рабочие места. В свете

этого неудивительно, что технологические университеты Китая так популярны среди абитуриентов. Наиболее рейтинговые технические вузы входят в консорциум China Campus Network и открыты для поступления всем желающим. Так, Чжэцзянский университет – комплексный научный вуз с высокой долей влияния в Китае и мире. Основан в 1897 г. в живописном районе города Ханчжоу провинции Чжэцзян. При университете есть собственный Научный парк площадью 113 га, на нем находятся 100 высокотехнологичных предприятий и 7 рейтинговых больниц. Годовой бюджет исследовательского фонда данного научного университета – более 3,3 млн юаней. В награды университета, которые может получить каждый продвинутый студент, входит и стипендия от Huawei Technologies.

Не менее знаменит Фуданьский университет – один из старейших и престижнейших вузов в стране, технологический университет Фудань за сто лет внес немалый вклад в общее развитие Китая. Он основан в 1905 г. и расположен в крупнейшем мировом центре – китайском мегаполисе Шанхай. Научный парк университета насчитывает 480 предприятий, оснащенных по последнему слову техники. В их числе известные бренды таких компаний, как Fudan Microelectronics, Fudan Guanghua, TCSOFT and Fudan Water. Также здесь есть 10 инновационных госпиталей, некоторые из них являются ведущими больницами страны. Кампус Фуданьского университета настолько огромен и функционален, что из него можно не выходить неделями. Здесь есть не только общежития, библиотеки, кафе и лаборатории, но и баскетбольные и футбольные поля, а также банкоматы, аптеки и магазины.

Не менее известен Харбинский институт технологий – перспективный технический вуз Китая, завоевавший 9-е место в мировом рейтинге компьютерных наук. Основан в 1920 г. в г. Харбин, столице северо-восточной провинции Хэйлунцзян.

Это многопрофильный университет, нацеленный на постоянное развитие.

Годовой бюджет на исследования института доходит до суммы в 295 млн долл. Последние пять лет принесли увеличение научных трудов вуза более чем на 170 % – такого беспрецедентного темпа роста не наблюдается даже у таких знаменитых университетов, как Стэнфорд, Токио, Гарвард и Беркли.

Нанькайский университет – классический научно-технический университет Китая, находящийся под эгидой Министерства образования КНР. Отличается балансом между всеми преподаваемыми в его стенах дисциплинами, очень широко известен среди работодателей. Этот технологический вуз основан в 1919 г. в портовом г. Тяньзинь недалеко от Пекина. На сегодняшний день в числе его преподавателей немало академиков из Китайской академии наук и инженерии – аналог Российской инженерной академии.

Как пишут Валентина Вильевна Кузнецова и Ольга Анатольевна Машкина (МГУ им. М. В. Ломоносова), современный Китай стал страной с наиболее масштабной системой высшего образования в мире. Но одновременно с проведением курса на развитие массового высшего образования Китай также формирует кластер элитных университетов, цель которых – выход на ведущие позиции в рейтингах лучших вузов мира. Становление китайской высшей школы в качестве международного образовательного лидера превращается в весомый фактор геополитического влияния китайского образования, культуры и жизненных ценностей, в первую очередь – на сопредельные страны. Принятые в конце XX в. «План мер по возрождению образования в XXI веке» и совместное решение ЦК КПК и Госсовета КНР «Об углублении реформы образования и всестороннем содействии продвижению качественного образования» заложили основу правового регулирования современной системы национальных вузов. Все государственные

вузы были разделены на две основные категории: центрального (категория «А») и местного (категории «Б/В») подчинения. Находящиеся под управлением центральных ведомств университеты превращались в площадки апробации различных моделей организации обучения для повышения качества образования с ориентиром на достижение лучших мировых стандартов. Ряд китайских университетов также активно сотрудничает с зарубежными вузами, предлагая разнообразные образовательные программы, включая программы двойного диплома. В настоящее время действует 2389 совместных с иностранными вузами образовательных проектов, которыми охвачено около 600 тыс. студентов.

В 13-м пятилетнем плане КНР (2016–2020) были намечены дальнейшие направления развития национальной системы образования в рамках стратегии построения экономики знаний. В качестве официальных целей стратегии строительства университетов и дисциплин мирового класса были выделены:

- продвижение университетов и учебных дисциплин, обладающих соответствующим потенциалом, в число высоко котирующихся на мировом уровне;
- ускорение развития системы управления высшим образованием и модернизация возможностей управления;
- повышение уровня инноваций в подготовке кадров, научных исследований, социальных услуг и культуры в структурах высшего образования;
- трансформация институтов высшей школы в важный источник исследовательских и технологических инноваций, передовых идей и культуры, основы по воспитанию талантливых граждан во всех сферах.

Проект выделяет три этапа реализации установленных целей:

- к 2020 г. сформировать группу университетов мирового уровня и учеб-

- ных дисциплин, отвечающих наивысшим образовательным стандартам;
- к 2030 г. увеличить число университетов и учебных дисциплин, признанных лучшими в мире (включение не менее 6 из 9 лучших китайских университетов в топ-15 лучших в мире вузов), добиться существенного повышения качества национального высшего образования;
- к 2050 г. превратить китайское высшее образование в мирового лидера.

Уникальная Программа «План тысяч талантов» (ТТП), или программа «Тысяча талантов», в которую был приглашен и я, была учреждена в 2008 г. центральным правительством Китая для признания и набора ведущих международных экспертов в области научных исследований, инноваций и предпринимательства. Как Соединенные Штаты, так и Канада предупредили, что Китай намерен использовать ученых, участвующих в этом плане, для получения доступа к новым технологиям для получения экономических и военных преимуществ. В 2019 г. программа была реорганизована как «Национальный план набора иностранных экспертов высокого класса». Программа включает в себя два механизма – ресурсы для постоянного набора в китайские научные круги, а также ресурсы для краткосрочных назначений, которые обычно ориентированы на международных экспертов, которые имеют полный рабочий день в ведущих международных университетах или исследовательской лабораториях. Программа предусматривает приглашение небольшого количества элитных экспертов иностранного происхождения, обладающих навыками, которые имеют решающее значение для международной конкурентоспособности Китая в области науки и инноваций. Мой опыт работы в Китае показал, что в рамках проекта «1000 талантов» выявился преимущественный интерес к работам военной тематики.

В январе 2020 г. Федеральное бюро расследований арестовало Чарльза М.

Либеры, заведующего кафедрой химии и химической биологии Гарвардского университета, за ложь о его связях с программой. В мае 2020 г. ФБР арестовало бывшего исследователя клиники Кливленда за то, что он не раскрыл связи с Программой тысячи талантов. В июне 2020 г. сообщалось, что Национальные институты здравоохранения провели расследование поведения 189 ученых. В ноябре 2020 г. Сун Го Чжэн, участник ТТР, признал себя виновным в ложных заявлениях ФБР о своих связях с правительством Китая во время его работы в Государственном университете Огайо. В августе 2020 г. Канадская служба безопасности и разведки предупредила о ТТП как канадские университеты, так и канадские исследовательские институты, заявив, что она нанимает исследователей и ученых по всему миру, чтобы убедить их поделиться своими исследованиями и технологиями – либо добровольно, либо по принуждению.

Студенты, которые планируют изучать инженерные специальности в США, знают, что инжиниринг – это быстро развивающееся направление с большими перспективами карьерного роста как в США, так и за рубежом. Несмотря на то, что в США существует множество университетов с инженерными специальностями, некоторые из них выделяются среди остальных. Согласно всем международным рейтингам, Массачусетский технологический институт (MIT), Стэнфордский университет, Калифорнийский технологический и Калифорнийский университет в Беркли возглавляют все рейтинги, когда речь заходит о программах инженерных дисциплин. В инженерном деле существует широкий спектр специализаций. Самыми высокооплачиваемыми инженерными направлениями в США являются:

- Нефтяная техника.
- Электротехника.
- Компьютерная инженерия.
- Химическая инженерия.
- Гражданское строительство.

- Машиностроение.
- Аэрокосмическая/авиационная техника.
- Генная инженерия.

Из 300 университетов в рейтинге химической инженерии почти четверть (74) приходится на США. Из них 16 входят в 50 лучших университетов мира. В рейтинг 6 лучших университетов США в области химической инженерии входят:

1. Массачусетский технологический институт (MIT).
2. Стэнфордский университет (Stanford University).
3. Университет Калифорнии, Беркли (UCB).
4. Калифорнийский технологический институт (Caltech).
5. Университет Принстон (Princeton University).
6. Университет Висконсин-Мэдисон (University of Wisconsin-Madison).

В рейтинг лучших университетов в области гражданского и промышленного строительства входят 200 учреждений по всему миру, в т. ч. 37 университетов США. Топ-6 снова возглавляет MIT:

1. Массачусетский технологический институт (MIT).
2. Калифорнийский университет, Беркли (UCB).
3. Стэнфордский университет (Stanford University).
4. Институт технологии Джорджии (Georgia Tech).
5. Университет штата Иллинойс в Урбана-Шампейн (University of Illinois at Urbana-Champaign).
6. Техасский университет в Остине (University of Texas at Austin).

Если посмотреть на рейтинг лучших университетов в области электротехники, то из 400 лучших университетов мира 69 находятся в США. Приведенные ниже 6 вузов входят в топ-25 мира:

1. Массачусетский технологический институт (MIT).
2. Стэнфордский университет (Stanford University).



3. Университет Калифорнии, Беркли (UCB).
4. Университет Гарвард (Harvard University).
5. Калифорнийский университет, Лос-Анджелес (UCLA).
6. Калифорнийский технологический институт (Caltech).

В США находятся 74 из 400 лучших университетов в рейтинге по машиностроению и авиационной инженерии:

1. Массачусетский технологический институт (MIT).
2. Стэнфордский университет (Stanford University).
3. Университет Гарвард (Harvard University).
4. Университет Калифорнии, Беркли (UCB).
5. Мичиганский университет (University of Michigan).
6. Технологический институт Джорджии (Georgia Tech).

Школа Colorado School of Mines занимает 1-е место в области нефте- и горнодобывающей, начиная с 2016 г., это единственный инженерный рейтинг, в котором нет MIT:

1. Колорадская школа нефтедобычи (Colorado School of Mines).
2. Университет штата Пенсильвания (Pennsylvania State University).
3. Университет Аризоны (University of Arizona).
4. Университет штата Юта (University of Utah).
5. Политехнический институт Вирджинии (Virginia Tech).
6. Университет Колорадо в Боулдере (University of Colorado at Boulder).

Подготовка высококвалифицированных атомщиков, в том числе из других стран, жизненно необходима не только для развития национальной атомной индустрии США, но и для продвижения интересов страны на мировых энергетических рынках. Проблеме дефицита квалифицированных атомщиков придается огромное значение на федеральном

уровне. В Штатах, как и во многих других странах, на кадры денег не жалеют. Ведущие министерства и госучреждения запускают все новые образовательные программы, уделяя особое внимание грантовой системе. Например, еще в 2005 г. Минэнерго одобрило программу образовательных грантов, разработанную Комиссией по ядерному регулированию (NRC). Программа нацелена на поддержку различных образовательных программ. В конечном итоге специалисты нужны на всех стадиях ядерно-топливного цикла – от добычи урана до вывода из эксплуатации. В США профессия атомщика оплачивается хорошо, поэтому требуется соответствующий уровень компетенции. Желающие работать в ядерно-энергетической отрасли должны иметь минимум диплом высшей школы.

Германия – страна, которой исторически принадлежала лидирующая роль в развитии промышленности в Европе. Техническое образование в Германии существует примерно с XVII в., и специалисты всегда отличались всесторонней подготовкой. Наиболее значимые технические университеты Германии:

- Рейнско-Вестфальский технический университет (г. Ахен).
- Берлинский технический университет.
- Технический университет Брауншвейга.
- Технический университет Дармштадта.
- Технический университет Дрездена.
- Ганноверский технический университет им. Г. В. Лейбница.

По словам Вильгельма Гумбольдта, «...характерной чертой высших учебных заведений является то, что здесь всегда рассматривается наука как еще не до конца решенная проблема и поэтому высшая школа неизменно остается в процессе исследований». В числе основных условий развития экономики Германии – рост производства и потребления, зависимость от импорта сырья и энергоносителей, рост

цен на сырье и энергоносители, нестабильность импорта сырья и энергоносителей, жесткие требования Киотского протокола. Сюда же относятся рост заработной платы и социальных расходов и повышение спроса на инновационные технологии на мировом рынке.

Основа государственной инновационной политики – создание условий для активизации науки и инновационных технологий за счет внедрения рыночных принципов управления. Доля занятых в сфере инновационных технологий: Германия – 27,7 %, Япония – 23,5 %, Италия – 20,4 %, США – 15,5 %, а доля прибавочной стоимости сегмента инновационных технологий составляет в Германии – 27,9 %, Японии – 25 %, Италии – 20,7 %, США – 18 %. Распределение бюджетных средств проводится только через научные сообщества. При этом Европейский союз – это главный финансист научных исследований. Проводятся Дни открытых дверей в университетах и научных организациях – каждый может прийти и посмотреть, что делается конкретно, и спросить, и задать вопросы, т. к. налогоплательщик – это основа жизни немецкого общества. Имеют место несколько научных сообществ в Германии: Немецкое научно-исследовательское общество, Общество Макса Планка (80 институтов, 12 тыс. сотрудников), Общество Гельмгольца (15 научных центров, 26 тыс. сотрудников), Фраунгоферовское общество (56 институтов, 13 тыс. сотрудников).

Немецкое техническое образование всегда носило консервативный характер, формируя сегодняшнюю культуру при умении использовать знания прошедшего времени с потребностями сегодняшнего дня и с поисками путей в будущее. В системе образования Германии к успехам реформ можно отнести следующее: 72 % университета и 95 % институтов согласились внедрить реформу, а связь вузов с системой аккредитации Германии позволила не снизить качества образования. Также возникла параметризация специ-

альностей: появились модули, кредитные пункты, учебная нагрузка, приложения к диплому, система экзаменов. Востребованность бакалавров на немецком рынке труда высокая, так как часто не требуется сверхквалифицированный специалист, а требуется понимание специальности и ответственность при работе.

Высшая школа (Гранд Эколь) и университеты – два основных вида вузов, исторически сложившихся во Франции. Как пишет Евгения Кузнецова (Университет Сан-Катан-ан-Ивлин), высшие инженерные школы произошли из школ для военных офицеров, первая из которых была создана в 1679 г. Людовиком XIV. Современные аналоги высших школ были основаны в период Французской революции (1789–1799) для зачисления лучших студентов для обучения специальным профессиям. Примеры таких школ: Ecole Polytechnique, предлагающая высококвалифицированное образование для инженеров при поддержке Министерства обороны; Ecole des Points et Chaussées, готовящая инженеров в области гражданского строительства; AgroParis Tech, объединяющая различные направления в области сельского хозяйства и экологии, и Ecole des Hautes Etudes Commerciales, являющаяся ведущей в экономической сфере и поддерживаемой Торговой палатой Парижа.

Франция имеет самую большую пропорцию выпускников научных и технологических специальностей в возрасте 20–29 лет в Европе. По данным Евростата, во Франции на 10 тыс. выпускников в возрасте 20–29 лет приходилось 207 выпускников технических специальностей, в Великобритании – 175, в Германии – 114.

В 2007 г. Франция провела реформу высшего образования и науки, изменив организацию университетов и сделав их более открытыми для бизнес-сектора. Сегодня университеты ведут собственную политику научных, бюджетных и кадровых ресурсов, а также управляют своей недвижимостью. Теперь они быстрее и

проще набирают сотрудников, создают новые курсы повышения квалификации, строят партнерства, создают университетские фонды и пользуются их средствами. С января 2011 г. около 90 % французских университетов решили перейти на автономный режим.

5 млрд евро было выделено из Госфонда через государственно-частное партнерство в рамках программы «Новый университетский кампус», чтобы обновить лаборатории, создать сильное сообщество, объединив главные кампусы, и повысить их международный имидж. Сейчас обновления проводятся в 12 главных кампусах: Лионе, Эксе-Марселе, Бордо, Гренобле, Страсбурге, Тулузе, Монпелье, Лилле, Лотарингии и в трех кампусах в парижском регионе (Париже, Саклэ и Кондорсе-Обервилье). Ускорение модернизации университетов стало возможным благодаря средствам национальной инвестиционной программы.

Подготовка атомщиков во Франции проходит в рамках деятельности европейской организации European Nuclear Education Network (ENEN), которая была создана в 2003 г. и сейчас объединяет более 30 самых авторитетных ядерных вузов Европы. Основная цель ENEN – сохранение и дальнейшее развитие знаний в ядерной области. Классический пример французского академического вуза, который проводит подготовку атомщиков по всем направлениям, – Национальный институт ядерной науки и технологии (INSTN). Он был создан в 1956 г., когда Франция решила начать ядерную программу. Основная площадка института находится в Сакле (20 км к югу от Парижа). Четыре филиала созданы в Гренобле, Кадараше, Маркуле и на территории кампуса Шербур-Октевиль. Еще в 2010 г. стартовали международная англоязычная магистерская программа во Франции и программа подготовки для операторов реакторов (степень бакалавра ядерной технологии) в Иордании. В 2011 г. было открыто совместное высшее учебное

заведение по подготовке инженерных кадров в сфере ядерных технологий в Китае. То есть Франция делает акцент на экспорте высшего образования, идя двумя путями: традиционный экспорт национального образования в виде специализированных университетских центров и межуниверситетская кооперация (инсталляция специализированных центров в университеты стран-новичков).

Инженерно-технологический сектор вносит огромный вклад в экономику Великобритании – 270,1 % от ВВП. 66,3 % выпускников инженерных и технологических факультетов нашли постоянную работу по специальности в первые полгода после окончания вуза. Специалисты в области STEM (Science, Technology, Engineering, Maths – наука, технология, инженерия, математика) получают одни из самых высоких зарплат (£68,539 в год при среднем годовом доходе по стране в £26,500).

Химическая инженерия (Chemical Engineering). Эта молодая инженерная отрасль сочетает в себе естественные науки (химию, физику и биологию) с математикой и экономикой. Занимается изучением того, как получить из сырья и химикатов продукты, пригодные для использования в разных областях жизни.

Лучшие университеты для изучения химической инженерии в Великобритании: Университет в Кэмбридже, Имперский колледж Лондона, Университет Бата.

Гражданское проектирование (Civil Engineering). Строительство объектов гражданского назначения. Сюда включаются как жилые и общественные здания, так и мосты, плотины, дороги и каналы.

Лучшие университеты, которые готовят специалистов по гражданскому проектированию: Университет в Кэмбридже, Имперский колледж Лондона, Университет Бата.

Электрическая инженерия (Electrical Engineering). Эта отрасль изучает электрический ток и его применение. Электрическая инженерия охватывает целый

ряд подразделов: источники электропитания, электроника, системы управления, телекоммуникация и др. Лучшие университеты для изучения электрической инженерии: Университет в Кэмбридже, Имперский колледж Лондона, Университет в Саутгемптоне.

Компьютерная инженерия (Computer Engineering) разрабатывает компьютеры и компьютерные системы, что включает создание:

- новой аппаратной техники;
- карманных персональных компьютеров;
- USB-устройств;
- а также компьютерных систем на предприятиях.

Лучшие университеты для изучения компьютерной инженерии в Великобритании: Университет в Кэмбридже, Имперский колледж Лондона, Оксфордский университет. Мехатроника (Mechatronics Engineering) основана на синергетическом объединении механики с электрическими и электронными компонентами. Объединенные системы носят названия электромеханических. К ним относятся: автоматизированные производственные системы, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха систем и различных подсистемы самолетов и автомобилей. Лучшие университеты для изучения мехатроники в Великобритании: Южный региональный колледж, Бристольский колледж, колледж Бриджутера.

Машиностроение (Mechanical Engineering) включает в себя производство и использование тепла и механической энергии для проектирования, производства и эксплуатации машин и инструментов.

Лучшие университеты, предлагающие программы по специальности «машиностроение»: Университет в Кембридже, Имперский колледж Лондона, Бристольский университет.

Ученые из Управления по атомной энергии Великобритании (UKAEA) «успеш-

но протестировали первую в мире концепцию, которая может устранить одно из главных препятствий на пути развития термоядерной энергии», заявило UKAEA 26 мая 2021 г. Первые результаты нового эксперимента UKAEA MAST Upgrade в Калхэме, недалеко от Оксфорда, продемонстрировали эффективность инновационной вытяжной системы, предназначенной для обеспечения реализации коммерческой жизнеспособности компактных термоядерных электростанций. Возрожденная атомная отрасль Великобритании позволит стране избежать угрозы исчерпаемости нефтегазовых месторождений и тем самым удовлетворить все энергетические потребности населения, что потребуют увеличения выпуска инженеров-атомщиков. Поэтому по-прежнему остается актуальным вопрос о том, что ожидает британскую атомную отрасль в ближайшем будущем: долгожданное и спасительное возрождение или застой?

Современное инженерное образование в Израиле я освещал ранее (см., например: <https://radiovesti.ru/brand/61009/episode/1461572/>). Израиль на сегодня входит в тройку стран-лидеров по количеству образованного населения – их число составляет здесь 49,9 % граждан (по данным Организации экономического сотрудничества и развития OECD за 2021 г.). Система образования в Израиле известна современными подходами к процессу обучения на всех уровнях. Выпускники израильских высших учебных заведений – квалифицированные специалисты, не имеющие проблем с трудоустройством в самые престижные организации по всему миру. На 2021 г. лучший в Израиле технологический университет – Технион – занимает 6-е место в мире среди высших учебных заведений, создающих наиболее благоприятные условия для исследований и инновационных разработок. Занимает 8-е место среди технологических университетов мира, поддерживающих ученых-лауреатов Нобелевской премии.



Сегодня в Технионе работают 3 нобелевских лауреата. В 2020 г. Технион создал свой дочерний университет в Китае – Гуанджун Технион – с факультетами химической инженерии, материаловедения и научной инженерии, биотехнологии и пищевой инженерии, и математики и вычислительной техники.

Но сейчас я хотел бы остановиться на современном инженерном образовании в Нидерландах.

Голландцы известны своими инновациями и творчеством, а их система образования известна своим международным характером и стилем обучения, основанным на проблемах. В стране действуют 14 исследовательских университетов и 41 университет прикладных наук, которые финансируются государством, причем Лейденский университет и Амстердамский университет преподают более 100 курсов на английском языке. Лучшими техническими университетами считаются:

- Делфтский технологический университет.
- Эйндховенский технологический университет.
- Университеты Амстердама и Гронингена.

Technische Universiteit Delft, основанный в 1842 г., является некоммерческим государственным высшим учебным заведением, расположенным в городских районах большого города Делфт, Южная Голландия. Основные задачи TU Delft – академические исследования и преподавание, а также передача знаний (повышение ценности), как описано в Законе о высшем образовании и исследованиях, выполняются факультетами. Факультеты включают в себя:

- Архитектура и искусственная среда.
- Электротехника, математика и информатика (EEMCS).
- Аэрокосмическая техника (AE).
- Прикладные науки (AS).
- Гражданское строительство и геонауки (CEG).

- Инжиниринг промышленного дизайна (IDE).
- Технология, политика и управление (TPM).
- Машиностроение, морское и материаловедение (3mE).

В условиях глобализации, экологической неустойчивости, демографических сдвигов и миграции технологические университеты Нидерландов сфокусировали внимание на непрерывном обучении и развитии трансверсальных навыков в системе инженерного образования. Трансверсальные компетенции приобретают характер жизненно важных в гиперсвязанном мире «общества знаний», движимом глобализацией, цифровыми технологиями, глобальной конкуренцией и искусственным интеллектом. Трансверсальные компетенции имеют следующие характеристики: они могут применяться в различных областях и контекстах жизнедеятельности человека; относятся к социальным и межличностным отношениям; являются кросс-функциональными и междисциплинарными в образовании; коммуникация является ключевым элементом; являются важными инструментами в любом контексте ускоренного и устойчивого развития; их можно наблюдать, подтверждать и развивать; они раскрываются через опыт и развитие в процессе высокоинтерактивных технологий обучения; влияют на самосознание и самопознание личности.

Одним из основных условий перехода к инновационному инженерному образованию, по мнению И. Г. Шамшиной (ДВФУ), является обновление методологии и содержания инженерного образования на основе тенденций и подходов современного наукоемкого инжиниринга в рамках построения Единого национального комплекса «Инженерное образование – Наука – Промышленность – Инновации» формирующейся инновационной экономики знаний. Выявления лучших зарубежных аналогов образовательных программ, лучших практик, таких как выполне-

ние на старших курсах реальных НИР, НИОКР и НИОКТР по заказам промышленных предприятий, интеграция передовых промышленных концепций и технологий, идей и подходов мировых лидеров в содержание курсов, развитие академической мобильности и программ двойных дипломов – все это должно способствовать становлению инновационного инженерного образования. Однако академическая мобильность, широко применяемая в мировой практике, когда студент может переехать из одного города в другой, из одной страны в другую, отучиться там какое-то время и, ничего не теряя, не прерывая образовательного процесса, вернуться обратно, в России не применим. Причина тому – административные и финансовые барьеры. И. Г. Шамшина убеждена, что для изучения технологий мирового уровня, которыми владеют компании – лидеры промышленности, преподаватель должен иметь возможность зарубежной стажировки минимум один раз в три года. Кроме того, должно быть выделено финансирование на участие

профессорско-преподавательского состава в конференциях различного уровня, прохождение курсов переподготовки по читаемым дисциплинам и особое внимание следует обратить на мировые тенденции развития инженерной деятельности и современные международные требования к профессиональным инженерам. Решение данной проблемы должно быть связано с созданием технических и технологических университетов нового типа, разработкой и освоением новых образовательных программ. В рамках же модернизации высшего технического образования необходимо увеличивать общеинженерную и фундаментальную подготовку, дать вузам право самим определять ее формы и содержание.

По моему мнению, это сегодня трудно осуществимо, но то, что значительные изменения в российском инженерном образовании необходимы, – не вызывает сомнения. Этому поможет и опыт современного инженерного образования в ведущих странах мира, часть которого и приведена в этой статье.

## ВСЕ РИСКИ ПОД КОНТРОЛЕМ

ottbp.panor.ru

Уникальный производственно-технический журнал «Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях» посвящен актуальным вопросам охраны труда и безопасности на производстве в различных отраслях промышленности, а также новейшим разработкам в области средств индивидуальной и коллективной защиты, проблемам энергобезопасности.

Широкий охват тем, мониторинг основных тенденций развития и обзор последних научно-практических достижений в этой области позволяют в одном издании найти ответы на важные вопросы, связанные с повышением уровня безопасности на конкретном производстве.

**Редакционный совет:** **Файнбург Г.З.**, д-р техн. наук, проф., директор Пермского краевого центра охраны труда и Института безопасности труда, производства и человека ПГТУ; **Бабанов С.А.**, д-р мед. наук, проф. ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; **Щербачев В.И.**, чл.-корр. Академии наук социальных технологий и местного

самоуправления, руководитель группы управления профессиональными рисками; **Державец А.С.**, д-р техн. наук, проф., академик РАЕН и МАНЭБ; **Вяткин Н.Л.**, д-р экон. наук, канд. техн. наук, техн. директор ЗАО «Взрывиспытания».

Издается при информационной поддержке ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Минтруда России и Клинского института охраны и условий труда.

**Ежемесячное издание.**

**Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.**

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Управление охраной труда
- Аттестация рабочих мест
- Управление профессиональными рисками
- Новое в законодательстве
- Надзор и контроль
- Гигиена труда
- Охрана труда и социальное партнерство
- Инструкции по технике безопасности
- Зарубежный опыт
- И другие рубрики.

ОХРАНА ТРУДА  
И  
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ  
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ



На правах рекламы

подписные индексы



82721

П7217

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

# УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОГО СПОСОБА ЗАЩИТЫ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБМОТОК ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

**Полезная модель 201755, МПК H02K**

**Автор:** Трушкин В. А., Козичев Р. В.

**Патентообладатель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»

*Полезная модель относится к электротехнике и предназначена для увеличения межремонтного периода погружных электродвигателей, находящихся в эксплуатации, путем поддержания уровня изоляции на должном уровне без подъема технологического оборудования. Предлагаемое устройство может быть использовано в отраслях народного хозяйства, занимающихся водоснабжением населенных пунктов и промышленных объектов.*

Технической задачей полезной модели является защита обмоток погружных электродвигателей водоснабжающих установок от снижения изоляции во время технологических пауз.

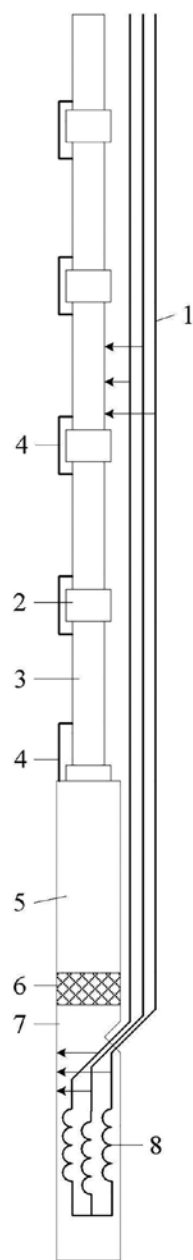
Указанная задача решается в устройстве для электроосмотического способа защиты и диагностирования обмоток погружных электродвигателей, содержащем источник диагностического напряжения, подающий ток на диагностическое устройство, блок питания, подающий напряжение на блок управления, который одним контактом управляет станцией управления, а другим контактом управляет работой диагностического устройства, которое соединено с микропроцессорным модулем для обработки и анализа получаемой информации.

Технический результат заключается в том, что применение предлагаемой полезной модели не требует интенсификации процесса, так как работа устройства

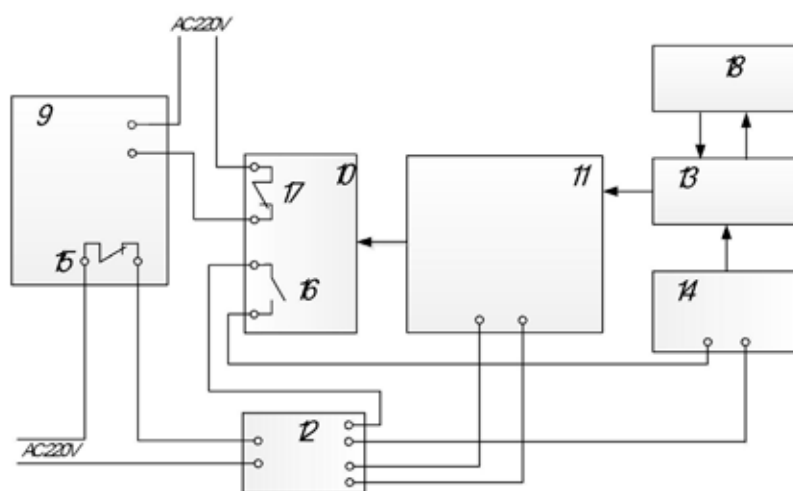
производится во время каждой технологической паузы.

Устройство для электроосмотического способа защиты и диагностирования обмоток погружных электродвигателей представлено чертежами: на фиг. 1 – схема подключения диагностического напряжения на погружную электронасосную установку, на фиг. 2 технологическая схема устройства.

Предполагаемая схема подключения диагностического устройства реализуется следующим образом. К питающему кабелю 1 от диагностической установки подключается положительный вывод источника постоянного тока, аквуподъемному трубопроводу, состоящему из секций трубопровода 3, соединительных муфт или фланцев 2 и перемычек 4, насоса 5 и защитной сетки 6 отрицательный вывод. Таким образом, между токоведущими жилами питающих проводов 1, обмоток 8 погружного электродвигателя 7 с одной стороны и водоподъемным тру-



Фиг. 1



Фиг. 2

бопроводом и корпусом электродвигателя с другой стороны создается разность потенциалов, необходимая для создания электроосмотического явления.

Стелками на схеме показано направление протекания тока.

Блок-схема установки изображена на фигуре 2 и состоит из блока питания 12, подающего напряжение на блок управ-

ления 10, микропроцессорный модуль 11, источник диагностического напряжения 14, диагностическое устройство 13. Станция управления погружным электронасосным оборудованием 9 питается от сетевого напряжения и имеет в своем устройстве контакт 15, по состоянию которого определяется текущее технологическое состояние оборудования. Блок



управления 10 своими контактами: 17 – управляет работой станции управления 9, при снижении сопротивления изоляции электродвигателя блокирует ее работу, отключая питающее напряжение, а контактом 16 – управляет работой диагностической части предлагаемого устройства.

Принцип работы устройства для электроосмотической защиты обмоток погружных электродвигателей от снижения сопротивления изоляции заключается в подаче постоянного напряжения на элементы водоснабжающей установки от источника постоянного тока для разрыва токопроводящих каналов заполненных водой в теле изоляции питающих проводов и обмоток погружного электродвигателя во время технологической паузы с последующим контролем параметров изоляционной системы устройством подключенным к действующей станции управления без внесения изменений в конструкцию последней и подъема оборудования из скважины.

Работает предлагаемое устройство следующим образом. При технологической паузе насосной установки контакт 15 станции управления замкнут, на разра-

батываемое устройство подается сетевое напряжение. От блока питания 12 пониженное постоянное напряжение подается на предлагаемое устройство. От источника диагностического напряжения 14 напряжение подается на диагностическое устройство 13, а через него на диагностируемое оборудование 18, начинается процесс электроосмотической защиты изоляции и контроль ее состояния. Информация о состоянии изоляции оборудования через диагностическое устройство 13 подается на микропроцессорный модуль 11. По параметрам входного сигнала микропроцессорный модуль 11 определяет состояние оборудования. В случае снижения сопротивления изоляции контролируемого оборудования 18 до критических значений, по параметрам входного сигнала от диагностического устройства 13 микропроцессорный модуль 11 определяет состояние контролируемого оборудования и подает сигнал на блок управления 10, размыкаясь, контакт 17 в цепи станции управления предотвращает ввод в работу оборудования 18 со сниженным значением сопротивления изоляции.



На правах рекламы

## УЛУЧШАЯ КАЧЕСТВО, МЕНЯЕМ МИР

[upr.panor.ru](http://upr.panor.ru)

Научно-практический журнал «Управление качеством» для руководителей производств, специалистов по качеству, стандартизации, сертификации, техническому регулированию и оценке соответствия, а также для учащихся и аспирантов вузов технической направленности.

качества продукции, применяемых в производстве как отечественными, так и зарубежными компаниями.

**Ежемесячное издание.**

**Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.**

Журнал «Управление качеством» — энциклопедия знаний в сфере стандартизации, технического регулирования, менеджмента качества. Публикуемые материалы предлагают профессиональный подход к решению вопросов повышения качества на всех уровнях управления и производства. Одна из главных задач журнала «Управление качеством» — анализ методологии, теории и практики обеспечения

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Качество в России
- Стандартизация
- Техническое регулирование
- Менеджмент качества
- Качество за рубежом
- Контроль качества
- Теория и практика
- Календарь отраслевых выставок, форумов, конференций на каждый квартал

подписные индексы



**82718**



**P7220**

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru) или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ

**Патент 2 740 075, МПК H02B, H02J, G01R**

**Автор:** Виноградов А. В., Сорокин Н. С., Виноградова А. В., Лансберг А. А.,  
Букреев А. В., Большев В. Е.

**Патентообладатель:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

*Изобретение относится к области электротехники, в частности, к трансформаторным подстанциям 10/0,4 кВ, и предназначено для применения в активно-адаптивных электрических сетях.*

Задачей предлагаемого изобретения является расширение функциональных возможностей цифровой трансформаторной подстанции.

В результате использования предлагаемого изобретения появляется возможность регулирования реактивной мощности, автоматического регулирования напряжения, осуществления автоматического повторного включения коммутационных аппаратов отходящих линий и ввода низкого напряжения, осуществления сигнализации и блокировки от обратной трансформации, учета электроэнергии с выделением потерь электроэнергии в силовом трансформаторе, возможности разгрузки силового трансформатора при перегрузках выше допустимой.

Вышеуказанный технический результат достигается тем, что цифровая трансформаторная подстанция, содержащая силовое оборудование, коммутационные аппараты с возможностью дистанционного управления и систему управления оборудованием электрической подстанции, согласно изобретению, содержит датчики напряжения, соединенные с силовыми сетями трансформаторной подстанции и с блоком контроля и управления трансформаторной подстанцией, осуществляющие контроль напряжения в точках их установки и передачу данных о значениях

напряжения в блок контроля и управления трансформаторной подстанцией, датчики тока, соединенные с силовыми сетями трансформаторной подстанции и с блоком контроля и управления трансформаторной подстанцией, осуществляющие контроль значений тока в точках их установки и передачу информации о значениях тока в блок контроля и управления трансформаторной подстанцией, датчики положения коммутационных аппаратов, соединенные с коммутационными аппаратами трансформаторной подстанции и с блоком контроля положения и управления трансформаторной подстанцией, осуществляющие контроль положения коммутационных аппаратов и передачу данных в блок контроля и управления трансформаторной подстанцией, блок бесперебойного питания, соединенный с силовыми сетями трансформаторной подстанции, с блоком контроля и управления трансформаторной подстанцией, устройством сбора, приема и передачи данных, обеспечивающий бесперебойное питание блока контроля и управления трансформаторной подстанцией, устройство сбора, приема и передачи данных, соединенное с блоком бесперебойного питания и с блоком контроля и управления трансформаторной подстанцией, осуществляющее сбор, прием и передачу

данных, команд, поступающих от блока контроля и управления трансформаторной подстанцией и от диспетчера сети, блок регулирования напряжения, соединенный с устройством регулирования напряжения под нагрузкой и с блоком контроля и управления трансформаторной подстанцией, осуществляющий регулирование напряжения с учетом значения напряжения на шинах подстанции по алгоритмам, сформированным в блоке контроля и управления трансформаторной подстанцией, блок регулирования реактивной мощности, соединенный с блоком конденсаторов переменной емкости и с блоком контроля и управления трансформаторной подстанцией, осуществляющий регулирование реактивной мощности с учетом значения напряжения на шинах подстанции, значения реактивной мощности в сети по алгоритмам, сформированным в блоке контроля и управления трансформаторной подстанцией, блок контроля и управления трансформаторной подстанцией, соединенный с коммутационными аппаратами с возможностью дистанционного управления, блоком регулирования напряжения, блоком регулирования реактивной мощности, блоком бесперебойного питания, устройством сбора, приема и передачи данных, датчиками напряжения, датчиками тока, датчиками положения коммутационных аппаратов, осуществляющий обработку информации с датчиков напряжения, датчиков тока, датчиков положения коммутационных аппаратов, устройства сбора, приема и передачи данных, на основании этой информации формирующий сигналы управления коммутационными аппаратами с возможностью дистанционного управления, блоком регулирования напряжения, блоком регулирования реактивной мощности, выполняя алгоритмы регулирования напряжения, регулирования реактивной мощности, сигнализации и блокировки от обратной трансформации при несанкционированной подаче напряжения со стороны низкого напряжения трансформаторной подстанции, в том числе со стороны отходящих

линий, алгоритмы автоматического повторного включения коммутационных аппаратов отходящих линий и ввода низкого напряжения в необходимых случаях, осуществляющий учет потребляемой электроэнергии по отходящим линиям и на вводах высокого и низкого напряжения трансформаторной подстанции с выделением потерь электроэнергии в силовом трансформаторе, учет количества и продолжительности отключений по отходящим линиям и по трансформаторной подстанции, разгрузку силового трансформатора при перегрузках выше допустимой за счет отключения части нагрузки, а также другие заложенные в него алгоритмы контроля, мониторинга, учета и управления.

Сущность предлагаемого изобретения поясняется чертежом, на котором представлена структурная схема предлагаемой цифровой трансформаторной подстанции, содержащей силовое оборудование, коммутационные аппараты с возможностью дистанционного управления и систему управления оборудованием электрической подстанции.

Цифровая трансформаторная подстанция содержит датчик напряжения (ДН 1), коммутационный элемент для создания видимого разрыва на напряжение 10 кВ (КЭ10 кВ 2), датчик положения (ДП 3), датчик положения (ДП 4), вакуумный коммутационный элемент с возможностью дистанционного управления на напряжение 10 кВ (ВКЭ 10 кВ 5), датчик напряжения (ДН 6), датчик тока (ДТ 7), блок регулирования напряжения (БРН 8), силовой двухобмоточный трансформатор с устройством регулирования напряжения под нагрузкой (Т 9), датчик напряжения (ДН 10), датчик тока (ДТ 11), коммутационный элемент для создания видимого разрыва на напряжение 0,4 кВ (КЭ 0,4 кВ 12), датчик положения (ДП 13), датчик напряжения (ДН 14), датчик положения (ДП 15), вакуумный коммутационный аппарат с возможностью дистанционного управления на напряжение 0,4 кВ (ВКЭ 0,4 кВ 16), датчик напряжения (ДН 17), датчик тока (ДТ 18), вакуумный коммутационный ап-

парат с возможностью дистанционного управления на напряжение 0,4 кВ (ВКЭ 0,4 кВ 19), датчик напряжения (ДН 20), коммутационный элемент для создания видимого разрыва на напряжение 0,4 кВ (КЭ 0,4 кВ 21), датчик положения (ДП 22), датчик положения (ДП 23), датчик тока (ДТ 24), вакуумный коммутационный элемент с возможностью дистанционного управления на напряжение 0,4 кВ (ВКЭ 0,4 кВ 25), датчик напряжения (ДН 26), датчик положения (ДП 27), коммутационный элемент для создания видимого разрыва на напряжение 0,4 кВ (КЭ 0,4 кВ 28), датчик положения (ДП 29), датчик тока (ДТ 30), вакуумный коммутационный аппарат с возможностью дистанционного управления на напряжение 0,4 кВ (ВКЭ 0,4 кВ 31), датчик напряжения (ДН 32), коммутационный элемент для создания видимого разрыва на напряжение 0,4 кВ (КЭ 0,4 кВ 33), датчик положения (ДП 34), датчик положения (ДП 35), блок регулирования реактивной мощности (БРРМ 36), вакуумный коммутационный аппарат с возможностью дистанционного управления на напряжение 0,4 кВ (ВКЭ 0,4 кВ 37), блок контроля и управления трансформаторной подстанцией (БКиУТП 38), блок бесперебойного питания (ББП 39), устройство сбора, приема и передачи данных (УСППД 40), батарея конденсаторов с переменной емкостью (БКПЕ 41), датчик положения (ДП 42).

ДН 1 соединен с вводной силовой цепью и с БКиУТП 38. КЭ 10 кВ 2 установлен в вводной силовой цепи и соединен с ДП 3. ДП 3 соединен с КЭ 10 кВ и с БКиУТП 38. ДП 4 соединен с ВКЭ 10 кВ 5 и с БКиУТП 38. ВКЭ 10 кВ 5 установлен в силовой цепи между КЭ 10 кВ 2 и Т 9, соединен с ДП 4 и БКиУТП 38. ДН 6 соединен с силовой цепью между ВКЭ 10 кВ 5 и Т 9, соединен с БКиУТП 38. ДТ 7 соединен с силовой цепью между ВКЭ 10 кВ 5 и Т 9, соединен с БКиУТП 38. БРН 8 соединен с Т 9 и с БКиУТП 38. Т 9 установлен в силовой цепи между ВКЭ 10 кВ 5 и КЭ 0,4 кВ 12, соединен с БРН 8. ДН 10 соединен с силовой цепью между Т 9 и КЭ 0,4 кВ 12, соединен с БКиУТП 38. ДТ 11 соединен с силовой

цепью между Т 9 и КЭ 0,4 кВ 12, соединен с БКиУТП 38. КЭ 0,4 кВ 12 установлен в силовой цепи между Т 9 и ВКЭ 0,4 кВ 16, соединен с ДП 13. ДП 13 соединен с КЭ 0,4 кВ 12 и с БКиУТП 38. ДН 14 соединен с силовой цепью между КЭ 0,4 кВ 12 и ВКЭ 0,4 кВ 16, соединен с БКиУТП 38. ДП 15 соединен с ВКЭ 0,4 кВ 16 и с БКиУТП 38. ВКЭ 0,4 кВ 16 установлен в силовой цепи между КЭ 0,4 кВ 12 и КЭ 0,4 кВ 21, КЭ 0,4 кВ 28, КЭ 0,4 кВ 33, ВКЭ 0,4 кВ 43, соединен с ДП 15. ДН 17 соединен с силовой цепью между ВКЭ 0,4 кВ 16 и КЭ 0,4 кВ 21, КЭ 0,4 кВ 28, КЭ 0,4 кВ 33, ВКЭ 0,4 кВ 37, соединен с БКиУТП 38. ДТ 18 соединен с силовой цепью между ВКЭ 0,4 кВ 19 и КЭ 0,4 кВ 21, соединен с БКиУТП 38. ВКЭ 0,4 кВ 19 установлен в силовой цепи после КЭ 0,4 кВ 21, соединен с ДП 22 и с БКиУТП 38. ДН 20 соединен с силовой цепью после ВКЭ 0,4 кВ 19 и с БКиУТП 38. КЭ 0,4 кВ 21 установлен в силовой цепи между ВКЭ 0,4 кВ 16 и ВКЭ 0,4 кВ 19, соединен с ДП 23. ДП 22 соединен с ВКЭ 0,4 кВ 19 и с БКиУТП 38. ДП 23 соединен с КЭ 0,4 кВ 21 и с БКиУТП 38. ДТ 24 соединен с силовой цепью между КЭ 0,4 кВ 28 и ВКЭ 0,4 кВ 25, соединен с БКиУТП 38. ВКЭ 0,4 кВ 25 установлен в силовой цепи после КЭ 0,4 кВ 28, соединен с ДП 27 и БКиУТП 38. ДН 26 соединен с силовой цепью после ВКЭ 0,4 кВ 25 и с БКиУТП 38. ДП 27 соединен с ВКЭ 0,4 кВ 25 и с БКиУТП 38. КЭ 0,4 кВ 28 установлен в силовой цепи между ВКЭ 0,4 кВ 16 и ВКЭ 0,4 кВ 25, соединен с ДП 29. ДП 29 соединен с КЭ 0,4 кВ 28 и с БКиУТП 38. ДТ 30 соединен с силовой цепью между КЭ 0,4 кВ 33 и ВКЭ 0,4 кВ 31, соединен с БКиУТП 38. ВКЭ 0,4 кВ 31 установлен в силовой цепи после КЭ 0,4 кВ 33, соединен с ДП 35 и с БКиУТП 38. ДН 32 соединен с силовой цепью после ВКЭ 0,4 кВ 31 и с БКиУТП 38. КЭ 0,4 кВ 33 установлен в силовой цепи между ВКЭ 0,4 кВ 16 и ВКЭ 0,4 кВ 31, соединен с ДП 34. ДП 34 соединен с КЭ 0,4 кВ 33 и с БКиУТП 38. ДП 35 соединен с ВКЭ 0,4 кВ 31 и с БКиУТП 38. БРРМ 36 соединен с БК ПЕ 41 и с БКиУТП 38. ВКЭ 0,4 кВ 37 установлен в силовой цепи между ВКЭ 0,4 кВ 16 и БК ПЕ 41, соединен с ДП 42. БКиУТП 38



соединен с ДН1, ДП 3, ДП 4, ВКЭ 10 кВ 5, ДН 6, ДТ 7, БРН 8, ДН 10, ДТ 11, ДП 13, ДН 14, ДП 15, ДН 17, ДТ 18, ВКЭ 0,4 кВ 19, ДН 20, ДП 22, ДП 23, ДТ 24, ВКЭ 0,4 кВ 25, ДН 26, ДП 27, ДП 29, ДТ 30, ВКЭ 0,4 кВ 31, ДН 32, ДП 34, ДП 35, БРРМ 36, ББП 39, УСППД 40, ДП 42. ББП 39 соединен с силовой цепью между ВКЭ 0,4 кВ 16 и КЭ 0,4 кВ 21, КЭ 0,4 кВ 28, КЭ 0,4 кВ 33, ВКЭ 0,4 кВ 37, соединен с БКиУТП 38 и с УСППД 40. УСППД 40 соединен с БКиУТП 38 и с ББП 39. БК ПЕ 41 установлен в силовой цепи после ВКЭ 0,4 кВ 37, соединен с БРРМ 36. ДП 42 соединен с ВКЭ 0,4 кВ 37 и с БКиУТП 38.

Устройство работает следующим образом.

Датчики напряжения ДН1, ДН6, ДН10, ДН14, ДН17, ДН20, ДН26, ДН32 контролируют напряжения в точках их установки и передают данные о значениях напряжения в цифровом виде в блок контроля и управления трансформаторной подстанцией БКиУТП 38, который осуществляет обработку этих данных, выявляя отклонения напряжения, не соответствующие заданным, выявляя исчезновения, прерывания, искажения напряжения, несимметрию по напряжению и точку, в которой произошел данный факт, а также сопоставляя эту информацию с информацией от других датчиков, и информацией от УСППД 40. Датчики тока ДТ7, ДТ11, ДТ18, ДТ24, ДТ30 передают информацию в цифровом виде о значениях тока в контрольных точках в БКиУТП38, который производит обработку полученных данных, выявляя точки, в которых произошло превышение заданных значений тока, появился ток короткого замыкания однофазного, двух- или трехфазного, определяет факты несимметрии по току на вводе ТП или в отходящих линиях, а также сопоставляя эту информацию с информацией от других датчиков, и информацией от УСППД 40.

Датчики положения коммутационных аппаратов ДП3, ДП4, ДП13, ДП15, ДП22, ДП23, ДП27, ДП29, ДП34, ДП35, ДП42 контролируют положение соответствующих коммутационных аппаратов и передают данные в блок контроля и управ-

ления трансформаторной подстанцией БКиУТП38, который обрабатывает данную информацию а также сопоставляет эту информацию с информацией от других датчиков, и информацией от УСППД 40. Блок бесперебойного питания обеспечивает питание БКиУТП38 и УСППД40.

В блоке БКиУТП38 происходит обработка информации, получаемой от датчиков напряжения, тока и положения, а также с УСППД40. На основе информации от указанных датчиков и устройств блоком БКиУТП38 выявляются аварийные режимы, несоответствие качества электроэнергии заданным значениям, вырабатываются команды на управление коммутационными аппаратами с возможностью дистанционного управления, команды на регулирование напряжения, регулирование реактивной мощности, разгрузку силового трансформатора.

Возможность регулирования реактивной мощности обеспечивается за счет того, что информация, поступающая с датчиков тока и напряжения, установленных в контрольных точках трансформаторной подстанции, позволяет определить потребляемую реактивную мощность. Также осуществляется контроль напряжения. При достижении определенных пороговых значений реактивной мощности блоком БКиУТП38 формируется сигнал управления, передаваемый на блок БРРМ 36, который осуществляет необходимые переключения, управляя емкостью БКПЕ41.

Автоматическое регулирование напряжения осуществляется следующим образом. Анализируются значение напряжения, измеренные ДН17, выявляется отклонение напряжения в точке установки данного датчика напряжения, рассчитывается отклонение напряжения у ближайших и удаленных потребителей на основе заложенных данных о сечениях провода отходящих линий и на основе данных о значениях тока в отходящих линиях (информация с датчиков ДТ18, ДТ24, ДТ30), определяется необходимость регулирования напряжения (в том случае, если расчетные отклонения напряжения

в заданных точках выше допустимого) и значение, на которое необходимо выполнить регулирование. Вырабатывается блоком БКиУТП38 сигнал управления и передается на БРН8, который осуществляет управление устройством регулирования под нагрузкой трансформатора. В необходимых случаях формируется сигнал управления и передается на БРРМ36.

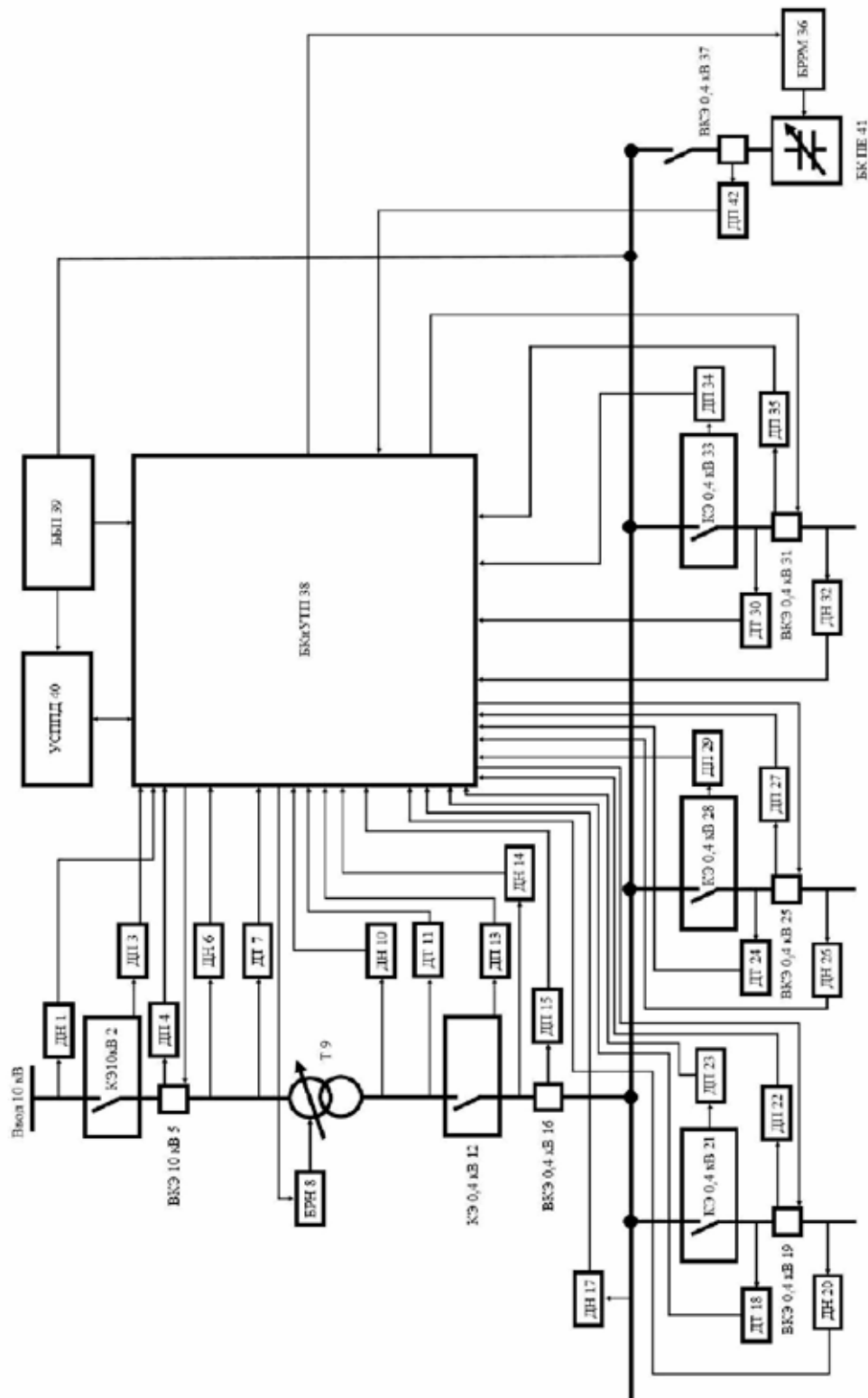
Автоматическое повторное включение коммутационных аппаратов отходящих линий осуществляется за счет подачи команд, сформированных БКиУТП38 на ВКЭ-04кВ19, ВКЭ-04кВ25, ВКЭ-04кВ31 после их отключения вследствие короткого замыкания в соответствующих отходящих линиях, а также после отключений в связи с исчезновением напряжения на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции. В случае отключения вследствие короткого замыкания в отходящих линиях повторное включение производится на основании анализа значения тока, произошедшего короткого замыкания. Если ток короткого замыкания превышал заданное пороговое значение, повторное включение не производится. Повторное включение ВКЭ-04кВ16 осуществляется в случае, если отключение данного коммутационного аппарата произошло вследствие исчезновения напряжения на высокой стороне трансформаторной подстанции, или вследствие отключения тока короткого замыкания в отходящей линии при отказе ВКЭ-04кВ19, или ВКЭ-04кВ25, или ВКЭ-04кВ31. При коротком замыкании на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции повторное включение ВКЭ-0,4кВ16 не производится.

Сигнализация и блокировка от обратной трансформации реализуются следующим образом. Блоком БКиУТП 38 анализируется последовательность появления сигналов о наличии и значении напряжения с датчиков ДН 14, ДН 17, ДН 20, ДН 26, ДН 32. При отсутствии сигнала с выхода датчика ДН 14 и при появлении сигнала с датчика ДН 17, или (и) сигналов с одного из, или с нескольких датчиков ДН 20, ДН 26, ДН 32 делается вывод, что

напряжение на шины низкого напряжения трансформаторной подстанции, или в одну из отходящих линий подано несанкционированно. Эта информация передается в БКиУТП47, данным блоком формируется команда на блокирование возможности включения ВКЭ-0,4кВ16 для предотвращения возможности обратной трансформации. Информация о несанкционированной подаче напряжения передается диспетчеру с помощью УСППД40 и отображается средствами сигнализации на месте. Также с помощью ДТ11 и БКиУТП38 контролируется направление тока, протекающего через ввод низкого напряжения трансформаторной подстанции. Если ток будет направлен в сторону силового трансформатора, то делается вывод о наличии обратной трансформации. Сигнал об этом передается в БКиУТП38. Если такой режим не допускается на трансформаторной подстанции, то БКиУТП38 формирует сигнал на отключение ВКЭ-0,4кВ16, ВКЭ-0,4кВ16 отключается, для предотвращения возможности дальнейшей обратной трансформации. Информация о факте обратной трансформации передается диспетчеру с помощью УСППД49 и отображается средствами сигнализации на месте.

За счет данных, получаемых с датчиков ДН6, ДТ7, ДН10, ДТ11 определяются мощность и потребление электроэнергии на вводе высокого напряжения трансформаторной подстанции и на вводе низкого напряжения, и после сравнения их значений определяются потери мощности и потери электроэнергии в силовом трансформаторе.

Разгрузка силового трансформатора осуществляется при его перегрузке выше допустимой. Для этого на основе информации с датчиков тока ДТ 7, ДТ 11 и датчиков напряжения ДН 6 и ДН 10 определяется потребляемая мощность с учетом потерь в трансформаторе, сравнивается с допустимой потребляемой мощностью с учетом допустимой перегрузки трансформатора в течение заданного времени. Если в течение заданного времени значение перегрузки не снижается, то



Фиг. 1

БКиУТП38 формирует команду на отключение части нагрузки за счет отключения коммутационных аппаратов отходящих линий. Повторное включение отключенных коммутационных аппаратов произойдет автоматически через заданное время, или по команде диспетчера.

Также могут выполняться другие заложенные в БКиУТП38 алгоритмы управления оборудованием трансформаторной подстанции.

Информация о режимах работы трансформаторной подстанции, результаты срабатывания коммутационных аппаратов, другие события хранятся в памяти блока БКиУТП38 и по запросу диспетчера передаются ему с помощью УСПД40. Также с помощью УСПД40 диспетчером передаются команды управления оборудованием трансформаторной подстан-

ции, включая регулирование напряжения, реактивной мощности, управление коммутационными аппаратами.

Предлагаемая цифровая трансформаторная подстанция позволяет расширить функциональные возможности цифровых трансформаторных подстанций за счет возможности регулирования реактивной мощности, автоматического регулирования напряжения, осуществления автоматического повторного включения коммутационных аппаратов отходящих линий и ввода низкого напряжения, осуществления сигнализации и блокировки от обратной трансформации, учета электроэнергии с выделением потерь электроэнергии в силовом трансформаторе, возможности разгрузки силового трансформатора при перегрузках выше допустимой.

## ГРАМОТНЫЕ НОРМЫ — ЭФФЕКТИВНЫЙ ТРУД

niotp.panor.ru

**Ежемесячное издание большого формата (205×285 мм), 80 страниц.**

Журнал «Нормирование и оплата труда в промышленности» включен в РИНЦ.

Научно-производственный журнал «Нормирование и оплата труда в промышленности» для специалистов по вопросам системы нормирования и оплаты труда.

Публикации издания — проверенные, востребованные методические и практические материалы, которые позволят использовать самый современный отечественный и зарубежный опыт построения систем оплаты.

Журнал «Нормирование и оплата труда в промышленности» откроет доступ к проверенным и действенным рекомендациям по введению, замене и пересмотру системы нормирования и оплаты труда. Одно из главных направлений публикаций журнала — актуальные разработки и схемы, направленные на комплексную оптимизацию мотивационных факторов, которые способствуют росту производительности труда.

Издается при научной и методической поддержке НИИ труда и социального страхования, Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова и РАГС.

**Ежемесячное издание.**

**Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.**

### ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Труд и норма
- В помощь нормировщику
- Оплата труда: политика и механизм формирования
- Проблемы производительности труда
- Мотивы и стимулы
- Социально-трудовые отношения
- Статистика и труд
- Поощрительные системы предприятия
- Доходы и уровень квалификации
- Современные проблемы использования рабочего времени

НОРМИРОВАНИЕ И ОПЛАТА ТРУДА  
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



На правах рекламы

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ



**82720**



**П7215**