

## ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ: ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

№ 4 (190)  
апрель / 2020

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](http://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: 30.04.2020

# СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА:  
ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

## СЕТИ И СИСТЕМЫ

**Оперативный бенчмаркинг ТЭС – технология интеллектуальных систем ..... 3**  
**Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Абдуллаева С. А., Назирова У. К.**

*В настоящей статье предлагаются: метод и алгоритм повышения ОЭР конкретных объектов при отсутствии сведений об аналогах; оценка ОЭР проводится для ТЭС с энергоблоками 300 МВт на газомазутном топливе по интегральным показателям, методика расчета которых учитывает различие размерностей и масштаба технико-экономических показателей (ТЭП), возможную корреляционную взаимосвязь ТЭП, направленность изменения ТЭП и возможное существенное различие реализаций нормированных ТЭП. Достоверность расчетов обеспечивается распознаванием «грубых» ошибок в исходных данных.*

**Оценка токов с нелинейной нагрузкой в электрической сети 0,38 кВ..... 11**  
**Кулачинский В. А., Юндин М. А.**

*В статье представлены результаты влияния нелинейной нагрузки на токи в линейных и нулевой рабочей жилах силового кабеля. Измерения были выполнены электроизмерительным прибором Н10К1 3196 на вводе в помещение с преобладающими нелинейными электроприемниками.*

**Методика комплексной оптимизации надежности электроснабжения потребителей в энергообъединении со слабыми связями..... 17**  
**Федотова Г. А.**

*Предлагается методика обеспечения оптимального уровня надежности электроснабжения потребителей в многозонном энергообъединении с ограниченными пропускными способностями связей между зонами при годовом планировании работы энергосистем в рыночной среде. В его основу положено комплексное решение задач распределения полного резерва генерирующей мощности в энергообъединении между зонами, внутри зон – между оперативной и ремонтной составляющими, оптимального по критерию надежности, и планирования ремонтов генерирующего оборудования – по экономическому критерию с учетом надежности. Методика позволяет оптимальным образом использовать для обеспечения надежности главные средства, доступные в условиях функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС), – резервы мощности и плановые ремонты генерирующего оборудования.*

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

**Оптимальные схемы типовых решений устранения импульсных перенапряжений ..... 26**  
**Кучеров Д. А.**

*В статье раскрываются причины возникновения импульсных перенапряжений в низковольтных энергосистемах и схемы типовых решений по их минимизации с помощью устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Описываются факторы, которые необходимо учитывать при проведении расчетов во время построения защитной схемы, и рассматриваются вопросы координации УЗИП с другими устройствами.*

## КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЯ

**Оценка технического состояния турбогенераторов. Контроль статорной обмотки по уровню частичных разрядов..... 31**  
**Сопин В. А., Данилин А. А.**

*Статья посвящена диагностике частичных разрядов обмотки статора генераторов с целью предотвращения аварийного отказа. В результате проведенной диагностики на одном из генераторов удалось выявить динамично развивающиеся частичные разряды и предотвратить аварию обмотки статора.*

**Получение и анализ характеристик полупроводниковых диодов по программе MatLab... 36**  
**Юсупов Д. Р., Беркинов Э. Х., Рахманов Д. А.**

*Данная работа посвящена созданию модели полупроводникового диода с учетом его физических свойств. В модели использованы математические соотношения, разработанные создателями программы Pspice, которые вошли в большинство программных пакетов по схемотехническому*

## 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

моделированию. Предлагаемая модель реализована в Matlab, Simulink и позволяет осуществлять создание Simulink-моделей, в которых необходимо использовать полупроводниковые диоды и учитывать различные свойства полупроводниковых диодов.

## ПРЯМАЯ РЕЧЬ

### Комплексное решение для производства

### электроэнергии микро-ТЭЦ..... 43

О новом техническом решении для промышленных предприятий, которое позволяет самостоятельно производить электрическую и тепловую энергию с помощью газопоршневых установок, а также о том, как сэкономить на тепле и холоде, рассказывает Даниил Пилипенко, руководитель направления продаж «Распределительная генерация» компании Schneider Electric.

## ИЗОБРЕТЕНИЯ И ПАТЕНТЫ

### Устройство искрозащиты..... 45

### Улучшенный генератор на постоянном магните..... 49

### Солнечная теплоэлектростанция ..... 60

## НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ

### Безопасная эксплуатация паровых котлов типа ДКВР ... 63

**Чуйков А. А., Щипанов А. В.**

Рассматриваются вопросы автоматизации процессов управления котельного оборудования с целью обеспечения промышленной безопасности при его эксплуатации. Предложенные мероприятия позволяют снизить вероятность происшествия аварий и инцидентов путем минимизации влияния человеческого фактора на процессы управления котельным оборудованием. Мероприятия, рассмотренные в статье, повышают энергоэффективность котельного оборудования.

## НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

### Внедрение цифровых комплектных распределительных устройств для модернизации электрической части трансформаторных подстанций ..... 67

**Копейкина Т. В.**

В статье рассматривается необходимость детального изучения вопроса внедрения цифровых комплектных распределительных устройств для модернизации электрической части трансформаторных подстанций. Приводятся недостатки, существующие в комплектных распределительных устройствах традиционного исполнения. Намечены направления для модернизации и совершенствования КРУ-строительства. Рассмотрены технические особенности цифровой ячейки КРУ-СЭЩ-70 производства компании «Электроцит Самара». Сделан вывод о том, что производство современных серий цифровых КРУ должно быть направлено на повышение эффективности работы систем электроснабжения, а также на снижение сроков компоновки распределительных сетей электроснабжения и сроков окупаемости объектов электроснабжения.

## РАБОТА С КАДРАМИ

### Опыт подготовки кадрового резерва

### из числа студентов очной формы обучения

### в операционной зоне ОДУ Юга ..... 72

**Гура Д. Н., Корольков А. Л., Пасторов В. М., Михайленко Ф. В.**

Проанализированы способы и эффективность доведения студентам необходимых знаний и умений, приближенных к действительным условиям работы подразделений ОДУ Юга и РДУ операционной зоны ОДУ Юга. Также представлен опыт совместных научных исследований студентов и работников АО «СО ЭЭС» по темам, актуальным для АО «СО ЭЭС». Описан алгоритм обучения студентов в подразделениях ОДУ Юга и РДУ операционной зоны ОДУ Юга. В докладе обобщен опыт подготовки кадрового резерва из числа студентов очной формы обучения филиалов АО «СО ЭЭС» Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, начиная с 2008 г.

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ

### Обзор изменений действующего законодательства

### в сфере электроэнергетики ..... 75

Представлен обзор изменений российского законодательства в сфере электроэнергетики. Рассматриваются законодательные и нормативные акты, вступающие в силу в 2020 году, а также проекты документов, открытых для публичных обсуждений.

УДК 621.438

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ. КОНТРОЛЬ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ ПО УРОВНЮ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

**Сопин В. А.**, начальник службы электротехнического оборудования,  
**Данилин А. А.**, инженер 2-й категории службы электротехнического  
оборудования,  
ООО «Инженерный центр “Энергопрогресс”», г. Казань

Статья посвящена диагностике частичных разрядов обмотки статора генераторов с целью предотвращения аварийного отказа. В результате проведенной диагностики на одном из генераторов удалось выявить динамично развивающиеся частичные разряды и предотвратить аварию обмотки статора.

**Ключевые слова:** частичные разряды, турбогенераторы, обмотка статора, изоляция, капитальный ремонт, разряды.

## ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF TURBO GENERATORS. MONITORING OF THE STATOR WINDING BY THE LEVEL OF PARTIAL DISCHARGES

**Sopin V. A.**, head of electrical equipment service,  
**Danilin A. A.**, category 2nd engineer of the electrical equipment service,  
Energoprogress Engineering Center LLC, city of Kazan

The article is devoted to the diagnosis of partial discharges of generators stator windings in order to prevent an emergency failure. As a result of the diagnostics performed on one of the generators, it was possible to identify dynamically developing partial discharges and prevent the stator winding accident.

**Keywords:** partial discharges, turbogenerators, stator winding, insulation, major overhaul, discharges.

Одним из направлений деятельности ООО «Инженерный центр “Энергопрогресс”» является обеспечение надежной и безопасной эксплуатации электрооборудования. Комплексная диагностика проводится с целью выявления дефектов на ранней стадии и предотвращения аварийной остановки оборудования,

планирования его ремонтов и модернизации.

Для контроля за состоянием статорных обмоток высоковольтных вращающихся электрических машин (ВВЭМ) компания давно и эффективно использует систему мониторинга производства компании IRIS Power LP (Канада).

Диагностика генераторов проводится в режиме реального времени на работающих генераторах, сигналы регистрируются установленными на токопроводах емкостными датчиками при помощи переносного прибора TGA-BP. В 2008 г. совместно с компанией «МТК Бизнес. Оптима» (подразделение ООО «БО-ЭНЕРГО») и при участии специалиста из Канады на Казанской ТЭЦ-3 установлен первый комплект датчиков на генератор типа ТВФ-63 напряжением 6,3 кВ для измерения уровня ЧР. В последующем году на этой же станции установлены еще два комплекта датчиков на два других генератора с напряжением статорных обмоток 6,3 и 10,5 кВ.

В 2009 г. на Казанской ТЭЦ-2 ИЦ «Энергопрогресс» уже самостоятельно установил три комплекта датчиков.

Следующей станцией, оснастившей свои генераторы данной системой мониторинга, стала Заинская ГРЭС. Одиннадцать комплектов датчиков установлено на генераторы типа ТВВ-320 и напряжением 15,75 кВ.

В 2012 г. территория генераторов, оснащенная данной системой мониторинга,

приросла за счет Башкирской генерирующей компании.

Следующим этапом стало оснащение гидрогенераторов Нижнекамской ГЭС, которое продолжается и по настоящее время.

Сотрудниками ИЦ «Энергопрогресс» ежегодно обследуется более 40 генераторов как в Республике Татарстан, так и за ее пределами. Анализируя результаты измерений, удается локализовать и выявить причину возникновения ЧР в обмотке статора, что позволяет эксплуатирующей организации не допустить аварийного останова генератора. В 2019 г. в результате проведенного обследования обмотки статора ТГВ-200М комплексом TGA-BP удалось выявить динамично развивающийся дефект на одной из фаз, тем самым предотвратить аварию турбогенератора.

Генератор контролировался с момента установки на него данной системы. В 2018 г. на фазе В были зарегистрированы значительные уровни ЧР. Динамика развития и распределения ЧР на фазе В за 2018 г. представлена на рис. 1 и 2.

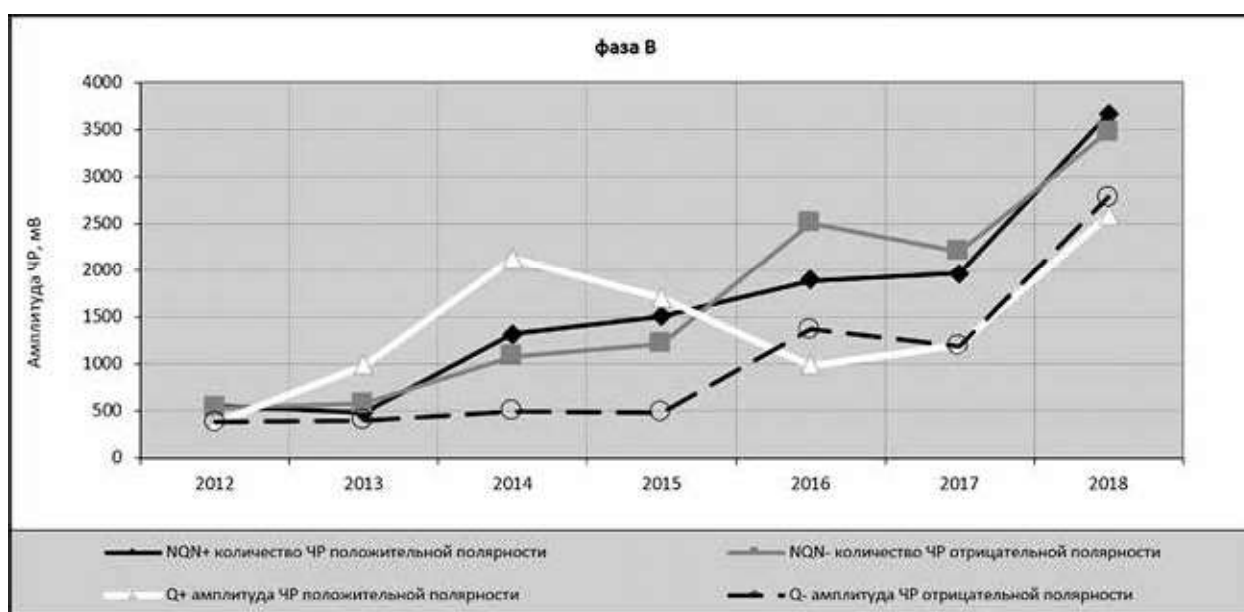


Рис. 1. Динамика развития ЧР фазы В статорной обмотки генератора с 2012 по 2018 г.

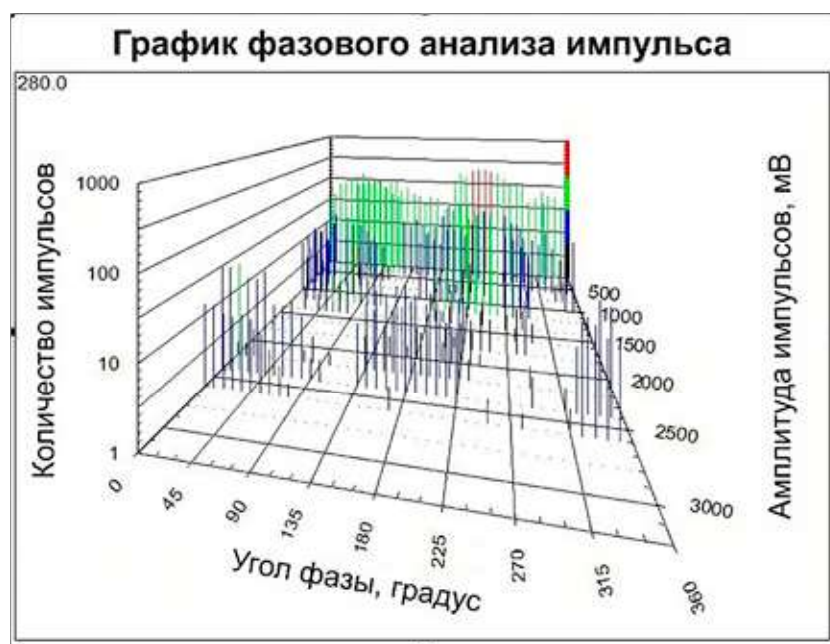


Рис. 2. Распределение ЧР фазы В статорной обмотки генератора

На основании проведенного анализа предположили, что главный источник разрядности – классический ЧР в пазовой части обмотки (фазовые углы 45 и 225 град.). Предположительное место локализации – фазы А и В. Еще одним источником ЧР является разряд из открытой дуги или короны (90 и 270 град.). Например, вдоль кольцевой шины или сильно поврежденного участка между полупроводящим и выравнивающими покрытиями. Предположительное место локализации – фазы В, С.

Было принято решение провести капитальный ремонт генератора в 2019 г. с выемкой ротора. Измерения показали, что сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции на фазе В очень низкие.

При испытаниях обмотки статора повышенным выпрямленным напряжением:

- на фазе В при напряжении 14,1 кВ через 30 с произошел разряд в лобовой части со стороны щеточного аппарата на расстоянии менее 300 мм от пазовой части стержня;

- на фазе С при подъеме напряжения до 30 кВ произошел разряд в лобовой части со стороны турбины, наблюдалось резкое возрастание тока утечки до 1000 мкА.

Уже на разобранном генераторе при проведении визуально-инструментального обследования генератора были обнаружены:

- 1) подвижность межслоевых колодок привела к массовой подвижности бандажных вязок в эвольвенте (рис. 3);
- 2) повреждение изоляции нижнего стержня фазы В межслоевыми колодками (рис. 4);
- 3) повреждение покровной ленты и начало истирания изоляции верхних стержней, вынутых из паза при обследовании поврежденного стержня (рис. 5);
- 4) повреждение изоляции стержня посторонним предметом (рис. 6);
- 5) истирание изоляции стержня 11Н со стороны возбуждителя межслоевой колодкой (рис. 7);

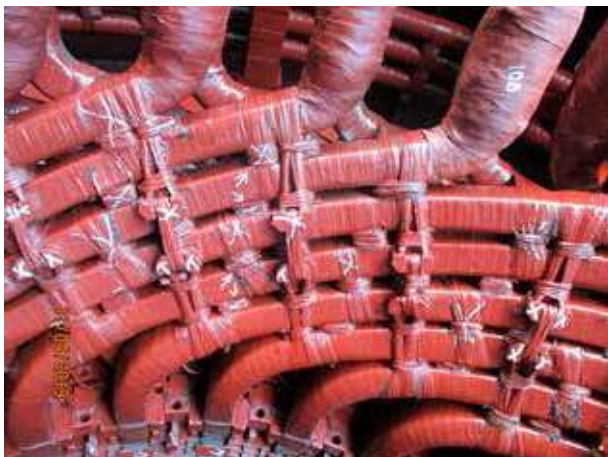


Рис. 3. Массовая подвижность бандажных вязок в эвольвенте



Рис. 4. Повреждение изоляции нижнего стержня фазы В межслоевыми колодками



Рис. 5. Повреждение покровной ленты и начало истирания изоляции верхних стержней, вынутых из паза при обследовании поврежденного стержня



Рис. 6. Повреждение изоляции стержня посторонним предметом



Рис. 7. Истирание изоляции стержня 11Н со стороны возбuditеля межслоевой колодкой



Рис. 8. Смятие и истирание изоляции стержня 16Н со стороны возбuditеля межслоевой колодкой

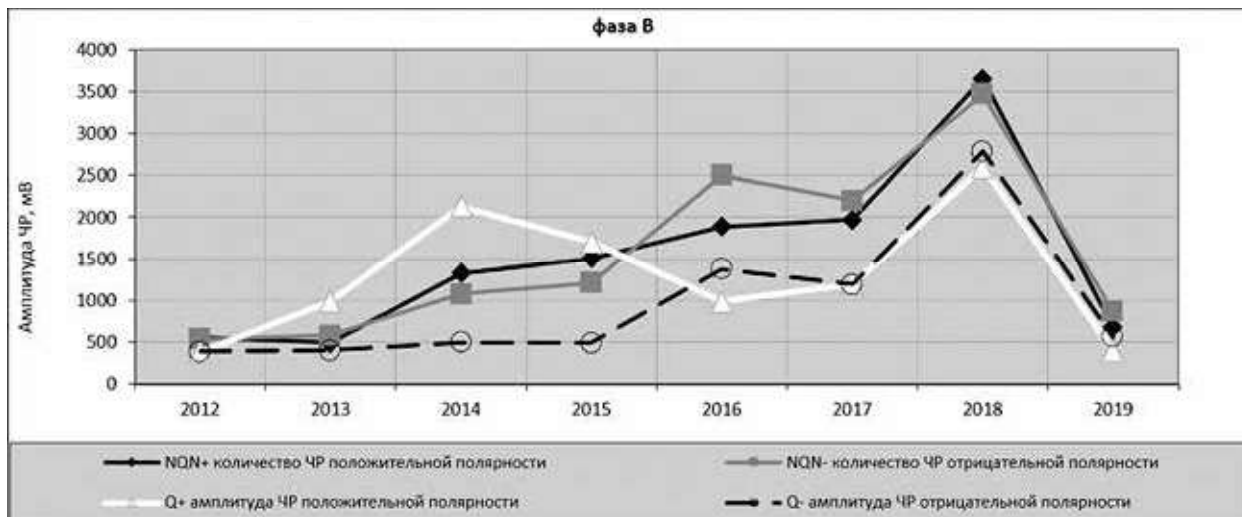


Рис. 9. Динамика развития ЧР фазы В статорной обмотки с 2012 по 2019 г.

б) смятие и истирание изоляции стержня 16Н со стороны возбуждителя межслоевой колодкой (рис. 8).

На работающем генераторе после проведенного капитального ремонта ге-

нератора (вынимали и восстанавливали корпусную изоляцию нижнего стержня фазы В) были вновь выполнены замеры активности ЧР и определено, что уровень ЧР на фазе В.

## ВСЕ О ЧИСТОЙ ВОДЕ

<http://panor.ru/vod>

Производственно-технический журнал «Водоочистка» охватывает самый широкий спектр вопросов, связанных с водоочисткой, экологией водных объектов и водопотребления. Рассматриваются инновационные разработки в области очистки воды и улучшения ее качества; методы санации трубопроводов; водоснабжение и водоотведение; технологии очистки сточных вод; электроимпульсные технологии обеззараживания. Публикуются мнения и оценки экспертов, рекомендации практиков, передовой опыт ведущих компаний и многое другое.

### Наши эксперты и авторы:

**Ухачев К.С.**, «Водные технологии „Атомэнергопрома“»; **Беляев С.Д.**, заведующий отделом Российского НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов; **Свердлик А.А.**, канд. техн. наук НИИ ВОДГЕО; **Панкратов А.Н.**, СК «Стиф»; **Адамович Б.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Шимко Ю.Н.**, НПО «Катализ»;

**Миняев М.В.**, канд. биол. наук, Тверской госуниверситет; НИИ «Мосстрой»; **Устюгов В.А.**, канд. техн. наук и другие ведущие специалисты в области водоснабжения, водоочистки и водоотведения.

Издается при информационной поддержке Российской инженерной академии, «МосводоканалНИИпроект», «Теплоэлектропроект», а также других НИИ и вузов.

**Ежемесячное издание.**

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

## ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Технологии и оборудование
- Водоснабжение
- Водоподготовка
- Водоотведение
- Способы водоочистки
- Экология водных объектов
- Научные разработки
- Комментарии специалистов

## Водоочистка



На правах рекламы

подписные индексы



**84822**



**П7309**

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).