

# НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ



Том 11 №4 2018



100 лет  
Институту  
«Теплоэлектропроект»

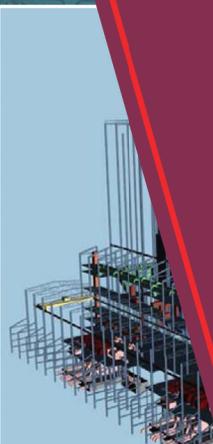
В номере:

- Материалы к 100-летию юбилею Института «Теплоэлектропроект»
- Результаты исследований надежности систем энергетики
- Надежность и эффективность систем газоочистки ТЭС
- Надежность воздушных линий электропередачи
- Причины повреждаемости распределительных электрических сетей
- Оценка рисков аварийности на основе графов состояний
- Система охлаждения циклового воздуха для микро-ГТУ

Институт вносит существенный вклад в развитие энергетической отрасли страны, проводит работу по развитию современного типового проектирования электростанций, координированно работает с научно-исследовательскими институтами, энергетическими и энергомашиностроительными компаниями.



По проектам Института сегодня успешно реализуется 26 ТЭС в России общей мощностью более 20 ГВт и 51 ТЭС в 20 странах мира общей мощностью более 28 ГВт.



[www.sigma08.ru](http://www.sigma08.ru)  
[www.testenergo.ru](http://www.testenergo.ru)



## МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТУ (АО) «ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ» — 100 ЛЕТ!

Исполнилось 100 лет Институту (в настоящее время АО) «Теплоэлектропроект» — ведущей организации Российской Федерации в области проектирования объектов тепловой и атомной энергетики.

За прошедший век несколькими поколениями сотрудников данного предприятия внесен неоценимый вклад в создание энергетической отрасли страны, разработку новых объектов тепловой и атомной энергетики с повышенными технико-экономическими показателями, а также в создание крупных энергообъектов ряда зарубежных стран.

Сотрудниками Института производится проектирование новых объектов с использованием современных методов, вычислительной техники и программного обеспечения.

В Институте создан надежный фундамент для последующего динамического развития энергетической отрасли страны с разработкой новых тепловых схем энергооборудования на суперсверхкритические параметры свежего пара.

Для решения современных задач в Институте имеются широкие возможности: накоплен солидный опыт ветеранов, который они успешно передают молодым специалистам.

В связи с юбилеем хочу пожелать всем сотрудникам Института доброго здоровья, новых успехов и достижений в деле максимально эффективного использования имеющегося потенциала электроэнергетической отрасли!

*Министр энергетики  
Российской Федерации*

*А. В. Новак*

Научно-технический журнал  
**Надежность и безопасность энергетики**

Том 11

№4

2018

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

С. И. МАГИД — д. т. н., профессор, генеральный директор АО «Тренажеры электрических станций и сетей», директор Департамента «Технические обучающие системы в энергетических технологиях» TEST UNESCO (Москва, Россия)

**ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**

Е. Н. АРХИПОВА — д. т. н., технический директор АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (Москва, Россия)

В. В. КУЛИЧИХИН — д. т. н., профессор ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)

**РЕДАКТОРЫ РАЗДЕЛОВ**

Н. И. ВОРОПАЙ — чл.-корр. РАН, д. т. н., профессор, научный руководитель ФГБУН «Институт систем энергетики им. Л.А. Меленчука» Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) (Иркутск, Россия) — раздел «Общие вопросы надежности и безопасности энергетики»

В. И. ШАРАПОВ (д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Теплогасоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (Ульяновск, Россия) — раздел «Генерация электроэнергии и тепла»

Л. А. ХОМЕНОК (д. т. н., профессор, заведующий аналитическим отделом Научно-производственного объединения по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (ЦКТИ) (Санкт-Петербург, Россия) — раздел «Проектирование, исследование, расчеты»

Н. Д. ЧИЧИРОВА (действительный член Российской академии естественных наук, д. х. н., профессор, директор института теплоэнергетики, зав. кафедрой «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Эксплуатация электрических станций»

В. СТРИЛКОВСКИЙ (доктор философии, профессор, научный сотрудник Кембриджской бизнес-школы Кембриджского университета (Англия) — раздел «Электрогенерация зарубежных стран»

И. Г. АХМЕТОВА (д. т. н., доцент, директор института цифровых технологий и экономики ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Цифровые технологии и экономика»

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

А. Н. ВИВЧАР — к. г. н., советник Директора ФГАУ «НИИ «Центр экологической промышленной политики» (Москва, Россия)

Е. П. ГРАБЧАК — Директор Департамента оперативного контроля и управления в электроэнергетике Министерства энергетики Российской Федерации (Москва, Россия)

Х. С. ДРАГАНЧЕВ — профессор Технического университета (Варна, Болгария)

И. Ш. ЗАГРЕТДИНОВ — к. т. н., главный инженер АО «Теплоэнергетическая компания Мосэнерго» (Москва, Россия)

З. ЗИМОН — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой Бранденбургского Технического Университета (Котбус-Зенфтенберг, Германия)

Н. А. ЗРОЙЧИКОВ — д. т. н., профессор, заместитель директора по научной работе ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского» (ОАО «ЭНИН») (Москва, Россия)

М. Х. Г. ИБРАГИМОВ — д. т. н., профессор, Первый заместитель председателя НП «Техноэкспо» (Москва, Россия)

Н. Б. КАРНИЦКИЙ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета (г. Минск, Беларусь)

С. А. КРОПАЧЕВ — д.и.н., начальник Учебно-тренировочного центра АО «Мособлэнерго» (Москва, Россия)

Б. М. ЛАРИН — д. т. н., профессор кафедры химии и химических технологий в энергетике ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина» (Иваново, Россия)

М. Ю. ЛЬВОВ — д. т. н., советник генерального директора АО «Объединенная энергетическая компания» (Москва, Россия)

Е. М. МАРЧЕНКО — к. т. н., профессор, генеральный директор ООО «Энив» (Москва, Россия)

В. Е. МЕССЕРЛЕ — д. т. н., профессор, главный научный сотрудник НИИ экспериментальной и теоретической физики Казахского Национального Университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан)

С. В. МИЩЕРЯКОВ — д. э. н., к. т. н., Генеральный директор Не-

коммерческого Партнерства «Корпоративный образовательный и научный центр Единой энергетической системы» (Москва, Россия)

Д. МОРВА — доктор, профессор Будапештского политехнического университета (Будапешт, Венгрия)

Л. П. МУЗЫКА — к. т. н., доцент, директор ООО «Ресурс-персонал» (Омск, Россия)

А. Н. НАЗАРЫЧЕВ — д. т. н., профессор, ректор ФГАУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» (Санкт-Петербург, Россия)

В. А. НЕПОМНЯЩИЙ — академик Российской академии естественных наук, д. э. н., профессор, к. т. н. (Санкт-Петербург, Россия)

В. М. НЕУЙМИН — к. т. н., главный специалист по энергетике и энергомашиностроению ООО «Технологические системы защитных покрытий» (Москва, Россия)

М. М. ПЧЕЛИН — Государственный советник РФ 1-го класса в отставке, лауреат премии Совета Министров СССР (Москва, Россия)

Н. Д. РОГАЛЕВ — д. т. н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», председатель Ученого совета (Москва, Россия)

А. И. ТАДЖИБАЕВ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Диагностика энергетического оборудования» ФГАУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» (Санкт-Петербург, Россия)

А. Е. УЖАНОВ — к. с. н., доцент кафедры "Мировая электроэнергетика" Международного института энергетической политики и дипломатии МГИМО МИД России, член-корреспондент Академии военных наук (Москва, Россия)

К. ФРАНА — д. т. н., профессор, заместитель декана факультета «Машиностроение» Технического университета (г. Либерец, Чехия)

М. И. ЧИЧИНСКИЙ — к. т. н., Генеральный инспектор — начальник Департамента технического надзора и аудита ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС») (Москва, Россия)

Учредитель и издатель: Научно-производственное объединение «Энергобезопасность».

Периодичность издания четыре раза в год. Выходит с 2008 года.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия. Свидетельство ПИ № ФС77-31974 от 14 мая 2008 г.

Журнал включен в новый перечень ВАК Министерства образования и науки РФ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней, а также в базы данных: РИНЦ, ВИНТИ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory.

Журнал ассоциирован при Международном центре обучающих систем ЮНЕСКО и Международной кафедре-сети ЮНЕСКО «TVET». Полнотекстовые версии статей размещены в научной электронной библиотеке elibrary.ru.

**Подписные индексы:**

45024 — Объединенный каталог и интернет-каталог «Пресса России», Е45024 — Интернет-каталог «Книга-сервис».

Художественный редактор: — Маланын Д. Б.

Технический редактор — Кутько Н. Е.

Подписано в печать 29.12.2018 г. Отпечатано в ООО «Паритет».

Почтовый адрес редакции: 117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6, ООО «НПО «Энергобезопасность»  
Телефон: +7 495 665-76-00, телефон/факс: +7 495 382-79-74; e-mail: sigma08@sigma08.ru; www.sigma08.ru

## EDITOR-IN-CHIEF

**Sergey I. MAGID** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Director General, JSC «Simulators of power plants and networks», Director of the Department «Technical educational systems in energy technologies» TEST UNESCO (Moscow, Russia).

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

**Elena N. ARKHIPOVA** — Dr. of Tech. Sc., Technical Director, JSC «Simulators of power plants and networks» (Moscow, Russia)  
**Vladimir V. KULICHIKHIN** — Dr. of Tech. Sc., Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)

## SECTION EDITORS:

**Nikolay I. VOROPAI** — Corr. Member of the RAS, Dr. of Tech. Sc., Professor, Scientific Director of the Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russia) — section «General issues of safety and reliability of power industry»  
**Vladimir I. SHARAPOV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the Department of heat and gas supply and ventilation of the «Ulyanovsk State Technical University» (Ulyanovsk, Russia) — section «Electric power and heat generation»  
**Leonid A. KHOMENOK** — Dr. of Tech. Sc., Professor, The head of analytical Department I. I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment (St. Petersburg, Russia) — section «Design, research, calculations»  
**Nataliya D. CHICHIROVA** — full member of the Russian Academy of Natural Sciences, Dr. of Chem. Sc., Professor, Director of the Thermal Engineering Institute, head of the Department of thermal power plants of the «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia) — section «Operation of power plants»  
**Wadim STRIELKOWSKI** — Ph.D., University of Cambridge, Judge Business School (Cambridge, England) — section «Power generation in foreign countries»  
**Irina G. AKHMETOVA** — Dr. Eng., Associate Professor, Director of the Institute of Economics and Information Technologies, FSBEI of Higher Education Kazan State Power Engineering University (Kazan, Russia) — section «Digital technologies and economy»

## EDITORIAL BOARD

**Anton N. VIVCHAR** — Cand. of Geogr. Sc., Advisor of Director of Federal State Autonomous Institution Research Institute «Environmental Industrial Policy Centre»  
**Hristo S. DRAGANICHEV** — Professor of the Varna Technical University (Varna, Bulgaria)  
**Evgeny P. GRABCHAK** — Director of the Department for Operational Control and Management in the Electric Power Industry of the Ministry of Energy of the Russian Federation (Moscow, Russia)  
**Ilyas Sh. ZAGRETDINOV** — Cand. Sc. (Eng), Chief Engineer of JSC «Heat Power Company Mosenergo» (Moscow, Russia)  
**Sylvio SIMON** — Prof. Dr.-Ing., Brandenburg University of Technology (Cottbus-Senftenberg, Germany)  
**Nikolay A. ZROICHIKOV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, «G. M. Krzhizhanovsky Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)  
**Marat H. G. IBRAGIMOV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, First Deputy Chairman, NP «Tekhnoekspo» (Moscow, Russia)  
**Nikolay B. KARNITSKIY** — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the department of thermal power plants, the Belarus National Technical University (Minsk, Belarus)  
**Sergey A. KROPACHEV** — Dr. of Hist. Sc., Head of Training Centre of JSC Mosoblenergo (Moscow, Russia)  
**Boris M. LARIN** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Department of chemistry and chemical technology in the power industry, of the «Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin» (Ivanovo, Russia)  
**Mikhail Yu. LVOV** — Dr. of Tech. Sc., Adviser to the General Director of United Energy Company JSC (Moscow, Russia)  
**Evgeniy M. MARCHENKO** — Cand. of Tech. Sc., Professor, Director, «Eniv», LLC (Moscow, Russia)  
**Vladimir E. MESSERLE** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Head Research Fellow of the Research institute of experimental and theoretical physics, the al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)  
**Sergey V. MISHCHERYAKOV** — Dr. of Econ. Sc., Cand. of Tech. Sc., Director General of the Non-profit Partnership «Corporate Training and Scientific Center of the Unified Energy System» (Moscow, Russia)  
**George MORVA** — Sc. Dr., Professor, the Budapest Polytechnic University (Budapest, Hungary)  
**Leonid P. MUZYKA** — Cand. of Tech. Sc., Director, «Resurs-Personal», LLC (Omsk, Russia)  
**Aleksandr N. NAZARYCHEV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Rector of the «Peterburg power engineering institute of professional development» (St. Petersburg, Russia)  
**Vladimir A. NEPOMNYASHCHIY** — Academician of the RANS, Dr. of Econ. Sc., Professor, Cand. of Tech. Sc. (St. Petersburg, Russia)  
**Valeriy M. NEUMIN** — Cand. of Tech. Sc., Chief Power Engineer, «Technological systems for protective coatings», LLC (Moscow, Russia)  
**Mikhail M. PHELIN** — Class I State Councilor of the RF (retired), awardee of the Prize of the Council of Ministers of the USSR (Moscow, Russia)  
**Nikolay D. ROGALEV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Rector of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Chairman of the Academic Council (Moscow, Russia)  
**Aleksey I. TADZHIBAYEV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the Department of diagnostics of energy systems, «Peterburg power engineering institute of professional development» (St. Petersburg, Russia)  
**Aleksandr E. UZHANOV** — Cand. of Sociol. Sc., Associate Professor of World Power Industry Department, International Institute of Energy Policy and Diplomacy, MGIMO of the Russian Federation Foreign Ministry, associate member of the Academy of Military Sciences (Moscow, Russia)  
**Karel FRANA** — Prof. Dr. — Ing. habil, Technical University of Liberec (Liberec, Czech Republic)  
**Mikhail I. CHICHINSKIY** — Cand. of Tech. Sc., Inspector General/Head of the Department of technical supervision and audit, PJSC «Federal Grid Company of the Unified Energy System» (Moscow, Russia)

Founder and publisher: Scientific and Production Association «Energobezопасnost».  
Frequency of the edition four times a year. Leaves since 2008.

The journal is registered in the Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communication, Communications and the Protection of Cultural Heritage. Certificate ПИ № ФС77-31974 dated May 14, 2008.

The journal is included into the SCADT's List of major reviewed scientific journals and publications, which shall publish the key scientific findings of theses for academic degrees of Doctor and Candidate of Sciences. The Journal is included in the following databases: RINC, VINITI, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory.

The journal is associated with the UNESCO International Center of Training Systems and the UNESCO International Chair Network «TVET».

Artistic editor: Malanin D. B. Technical Editor: Kutko N. E. Signed in the press on December 29, 2018. Printed in LLC Paritet.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Загредтинов И. Ш., Кучеров В. В., Захаров Я. В., Шабанов И. И.</b> 100-летний юбилей Института «Теплоэлектропроект» — из прошлого в будущее .....	264
<b>Кропачев С. А.</b> 100 лет созидания. К юбилею «Теплоэлектропроекта» .....	274
<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ</b>	
<b>Воропай Н. И., Федотова Г. А.</b> Направления и результаты исследований надежности систем энергетики .....	280
<b>Замалиева А. Т., Зиганшин М. Г.</b> Повышение надёжности, энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС .....	288
<b>Васильев П. Ф., Нестеров А. С., Кобылин В. П.</b> Оценка надежности воздушной линии электропередачи с расщепленной резервной фазой .....	294
<b>Наумов И. В., Карпова Е. В.</b> Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (на примере Южных электрических сетей города Иркутска) .....	299
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ</b>	
<b>Аминов Р. З., Бурденкова Е. Ю., Портыанкин А. В.</b> Методика оценки годового риска от поломок, пожаров и взрывов на основе графов состояний в электролизных цехах .....	305
<b>Волков А. В., Парыгин А. Г., Вихлянцев А. А., Дружинин А. А.</b> К вопросу об оптимизации проточной части рабочих колёс центробежных насосов .....	311
<b>Катенев Г. М., Тумановский В. А., Степанова Т. А.</b> Стендовая система охлаждения циклового воздуха для микро-ГТУ .....	319
<b>Грачева Е. И., Наумов О. В.</b> Применение метода нечеткого регрессионного анализа для определения потерь электроэнергии в сетях внутрицехового электроснабжения .....	325
<b>ИНФОРМАЦИЯ</b> .....	332
<b>ХРОНИКА, ПУБЛИКАЦИИ</b> .....	341
<b>ПЕСТРЫЙ МИР: ФАКТЫ, МНЕНИЯ, МЕТАФОРИЗМЫ</b> .....	343

## CONTENTS

<b>Zagredtinov I. Sh., Kucherov V. V., Zakharov Ya. V., Shabanov I. I.</b> The Centenary of «Teploelektroproekt» Institute: from the Past to the Future .....	264
<b>Kropachev S. A.</b> 100 years of creation. On the jubilee of «Teploenergooproekt» .....	274
<b>GENERAL ISSUES OF RELIABILITY AND SAFETY OF ENERGY</b>	
<b>Voropai N. I., Fedotova G. A.</b> Areas and results of research on reliability of energy systems .....	280
<b>Zamalieva A. T., Ziganshin M. G.</b> Improving the reliability, as well as energy and environmental efficiency of gas cleaning systems at TPP .....	288
<b>Vasilyev P. F., Nesterov A. S., Kobylin V. P.</b> Assessment of reliability of an overhead transmission line with a split back-up phase .....	294
<b>Naumov I. V., Karpova E. V.</b> Analysis of causes of failures in 10 kV electrical power distribution networks (on the example of the Southern electrical networks of the city of Irkutsk) .....	299
<b>DESIGN, RESEARCH, CALCULATIONS</b>	
<b>Aminov R. Z., Burdenkova E. Yu., Portyankin A. V.</b> Method of estimation of annual risk from breaks, fires and explosions on the basis of state graphs in electrolysis plants .....	305
<b>Volkov A. V., Parygin A. G., Vikhlyantsev A. A., Druzhinin A. A.</b> On optimization of flow passages of impellers of centrifugal pumps .....	311
<b>Katenev G. M., Tumanovskii V. A., Stepanova T. A.</b> Experimental cycle air cooling system for gas microturbine unit .....	319
<b>Gracheva E. I., Naumov O. V.</b> Application of fuzzy regression analysis method for determination of electric power losses in intrafactory power supply networks .....	325

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-264-273>

УДК 620.9

## 100-летний юбилей Института «Теплоэлектропроект» – из прошлого в будущее

**Загреддинов И. Ш.\*, Кучеров В. В., Захаров Я. В., Шабанов И. И.**

АО «Институт Теплоэлектропроект»

Спартакoвская ул., д.2а, стр.1, 105066 г. Москва, Россия

Поступила / Received 01.12.2018

Принята к печати / Accepted for publication 14.12.2018

Статья посвящена 100-летию юбилею Института «Теплоэлектропроект», представляет направления деятельности института в настоящее время.

Несмотря на сложные условия существования, финансово-экономический кризис, институт по своему производственному потенциалу, технической оснащенности, объему выполняемых работ и масштабу получаемых заказов продолжает оставаться одной из ведущих проектных организаций в области создания проектов тепловых электростанций на органических видах топлива (уголь, природный газ, мазут) с установкой паротурбинных, парогазовых, газотурбинных блоков и подстанций различного напряжения.

Техническая политика института направлена в будущее, основной задачей является обеспечение высокого научно-технического уровня разрабатываемых институтом проектов и технико-коммерческих предложений.

В институте применяются прогрессивные технологии при разработке технической документации; внедряются передовые технические решения во всех частях проекта и проводится единая техническая политика института в разрабатываемых проектах; обеспечивается стабильно высокое качество технической документации на основе постоянного улучшения системы менеджмента качества; совершенствуются методы расчета / математических моделей и внедрения их в процесс проектирования; обеспечивается всесторонний и наиболее полный учет требований Заказчика при подготовке технико-коммерческих предложений, проектировании новых и/или реконструкции и техническом перевооружении имеющихся объектов генерации; осуществляются тесные связи с научными, конструкторскими организациями, заводами-изготовителями оборудования, изделий и материалов с целью внедрения в проектную документацию имеющихся передовых научно-технических достижений.

Разработаны типовые компоновки главного корпуса для пылеугольных блоков на суперсверхкритические параметры пара, котлов с циркулирующим кипящим слоем, установок очистки дымовых газов от оксидов азота и серы, парогазовых установок. Приведены примеры разработки энергоблоков для промышленных предприятий, унифицирующих нетрадиционные для энергетики виды топлива. Дано краткое описание референции института в области строительства ПГУ и ГТУ-ТЭЦ, а также пылеугольных электростанций.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** научно-технический уровень, техническая документация, методы расчета/математические модели, компоновки, электростанции

### Благодарности

Авторы статьи выражают признательность коллегам, принимавшим активное участие в выполнении НИОКР: И. А. Михайлову, Д. Г. Григоруку, А. С. Сидорову, И. В. Трескову, Д. А. Денищуку, Н. А. Ермайкиной, А. Ф. Тычинскому, Л. И. Сивакову.

### Адрес для переписки:

Загреддинов И. Ш.

АО «Институт Теплоэлектропроект»

Спартакoвская ул., д.2а, стр.1, 105066 г. Москва, Россия

e-mail:tep@tep-m.ru

### Address for correspondence:

Zagredtinov I. Sh

JSC «Teploproekt Institute»

Spartakovskaya St, 2a, bldg 1, 105066, Moscow, Russia

e-mail:tep@tep-m.ru

### Для цитирования:

Загреддинов И. Ш., Кучеров В. В., Захаров Я. В., Шабанов И. И. 100-летний юбилей Института «Теплоэлектропроект» – из прошлого в будущее. Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. – С. 264–273  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-264-273>

### For citation:

Zagredtinov I. Sh., Kucherov V. V., Zakharov Ya. V., Shabanov I. I. [The Centenary of «Teploelektroproekt» Institute: from the Past to the Future]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 264–273 (in Russian)  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-264-273>

## The Centenary of Teploelektroproekt Institute: from the Past to the Future

Zagredtinov I. Sh.\*, Kucherov V. V., Zakharov Ya. V., Shabanov I. I.

JSC Teploproekt Institute

Spartakovskaya St, 2a, bldg 1, 105066, Moscow, Russia

The article is devoted to the one-hundredth anniversary of Teploelektroproekt Institute, and presents areas of the institute's current activities.

Despite the difficult conditions, the financial and economic crisis, the Institute continues to be one of the leading design organizations in the field of developing projects of thermal power plants operating on organic fuels (coal, natural gas, fuel oil) with the installation of steam-turbine, steam-gas, gas turbine units and substations of various voltages, in terms of its production capacity, technical equipment, scope of work performed and scale of orders received.

The technical policy of the Institute is orientated at the future, the key objective being ensuring a high scientific and technical level of projects, and technical and commercial proposals developed by the Institute.

The Institute uses cutting edge technologies in the development of technical documentation; introduces advanced technical solutions throughout the project and conducts its uniform policy for the projects under development; provides consistently high quality of technical documentation on the basis of continuous improvement of its quality management system; improves methods of calculation/mathematical models and their implementation in the design process; ensures comprehensive and total accounting of the Customer's requirements at preparation of technical and commercial offers, design of new and/or reconstruction and technical re-equipment of existing power-generating facilities; maintains close relations with scientific and design organizations, manufacturers of equipment, products and materials for the purpose of introduction of available advanced scientific and technical achievements in project documentation.

Standardized layouts of the main buildings are designed for pulverized coal-based generating units of ultra-supercritical steam conditions, for circulating fluidized bed boilers, flue gas denitrification and desulphurization plants, for combined cycle plants. Examples of the power plant designing are presented for industrial facilities utilizing nonconventional fuels. A short description is given about the institute's references in the field of construction of combined cycle and cogeneration plants as well as pulverized coal-based plants.

KEYWORDS: scientific and technical level, technical documentation, calculation methods/mathematic models, layout, power plants

### Acknowledgments

The authors are grateful to their colleagues who took an active part in R&D activities: I. A. Mikhaylov, D. G. Grigoruk, A. S. Sidorov, I. V. Treskov, D. A. Denishchuk, N. A. Yermaykina, A. F. Tychinskiy, L. I. Sivakov.

История Института «Теплоэлектропроект» — это история создания, становления и развития отечественной энергетики, история реализации грандиозных и уникальных проектов в отрасли как в России, так и за рубежом. Коллектив института по праву гордится своим великим 100-летним прошлым.

Несмотря на сложные условия существования, финансово-экономический кризис, институт по своему производственному потенциалу, технической оснащенности, объему выполняемых работ и масштабу получаемых заказов продолжает оставаться одной из ведущих проектных организаций в области создания проектов тепловых электростанций на органических видах топлива (уголь, природный газ, мазут) с установкой паротурбинных, парогазовых, газотурбинных блоков и подстанций различного напряжения.

**Техническая политика института направлена в будущее**, основной задачей является обеспечение высокого научно-технического уровня разрабатываемых институтом проектов и технико-коммерческих

предложений путем:

- применения прогрессивных технологий при разработке технической документации;
- внедрения передовых технических решений во всех частях проекта и проведения единой технической политики института в разрабатываемых проектах;
- обеспечения стабильно высокого качества технической документации на основе постоянного улучшения системы менеджмента качества;
- совершенствования методов расчета / математических моделей и внедрения их в процесс проектирования;
- всестороннего и наиболее полного учета требований Заказчика при подготовке технико-коммерческих предложений, проектировании новых и/или реконструкции и техническом перевооружении имеющихся объектов генерации;
- осуществления тесных связей с научными, конструкторскими организациями, заводами-изготовителями оборудования, изделий и материалов с целью внедрения в проектную документацию имеющихся



**Рисунок 10.** Троицкая ГРЭС  
**Figure 10.** Troitskaya GRES

турбинные установки К-60-12,8 «УТЗ».

Наряду с основной площадкой потребовалось проектирование ряда объектов за её пределами: подъездные автомобильные дороги, система внешнего золошлакоудаления, схема выдачи электрической мощности, система хозяйственно-питьевого водоснабжения, применение сухой градирни.

В настоящее время институт разрабатывает проект строительства Амурской ТЭС для обеспечения нужд Амурского газоперерабатывающего завода, важного звена технологической цепочки будущих поставок природного газа в Китай по газопроводу «Сила Сибири».

Развитие института сегодня сфокусировано на достижении лидерства в области выполнения проектно-исследовательских работ и инженеринговых услуг, обеспечивая при этом высокое качество полученного результата и эффективность новых технологий.

## Выводы

1. Институт «Теплоэлектропроект» по-прежнему вносит свой существенный вклад в качественное развитие энергетической отрасли через осуществление профессионального проектирования объектов генерации и инфраструктуры путём создания на базе современных технологий и последних разработок конкурентоспособных и высокотехнологичных объектов, соответствующих требованиям технической, экономической эффективности и экологической безопасности.

2. Проекты института в прошедшее пятнадцатилетие

успешно реализованы на более двадцати тепловых электростанциях пароголового и паросилового цикла на газообразном и твёрдом топливе.

3. В составе группы компаний АО «ТЭК Мосэнерго», крупного инженерингового холдинга, реализующего генеральный подряд на строительство ТЭС, на базе ряда совместных проектов институт проводит работу по развитию комплексного типового проектирования электростанций.

4. Институт демонстрирует способность координированно работать с научно-исследовательскими отраслевыми институтами, энергетическими и энергомашиностроительными компаниями по реализации прогрессивных пилотных проектов для ускоренного развития отрасли.

## Список использованных источников

1. Григорук Д. Г., Шабанов И. И., Кучеров В. В. и др. Технико-экономическое обоснование строительства энергоблока комплекса глубокой переработки нефти на АО «Газпромнефть-МНПЗ» // Электрические станции 2018; (10): 17–22.
2. Пак Д. Ф., Кучеров В. В., Шабанов И. И. и др. Применение инновационных технологий в проекте реконструкции котлоагрегатов ТГМЕ-464 Нижнекамской ТЭЦ для пылевого сжигания нефтяного кокса // Электрические станции 2018; (10): 23–29.
3. Загреддинов И. Ш., Кучеров В. В., Захаров Я. В., Шабанов И. И. Основные направления строительства ТЭС России в проектах АО «Институт Теплоэлектропроект» // Электрические станции 2018; (10): 2–8.

## References

1. Grigoruk D. G., Shabanov I. I., Kucherov V. V. et al. Technical and economic feasibility study for a project of Power Generation Unit construction for Advanced Oil Refining Complex (AORC) of the plant JSC Gazpromneft-Moscow Oil Refinery (MOR) // Elektricheskie Stancii 2018; (10): 17–22.
2. Pak D. F., Kucherov V. V., Shabanov I. I. et al. Implementation of innovative technologies in the reconstruction project for pulverized petroleum coke combustion in the boiler unit TGME-464 of thermal power plant Nizhnekamskaya TEZ // Elektricheskie Stancii 2018; (10): 23–29.
3. Zagredtinov I. S., Kucherov V. V., Zakharov Y. V., Shabanov I. I. Basic trends of Russia's thermal power plants construction represented in projects of JSC "Institute Teploelectroproject" // Elektricheskie Stancii 2018; (10): 2–8.



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-274-279>

УДК: 620.9

## 100 лет созидания. К юбилею «Теплоэлектропроекта».

**Кропачев С. А.**

АО Мособлэнерго

ул. Союзная, д. 9, 143006, г. Одинцово, Московская область, Россия

Поступила / Received 02.11.2018

Принята к печати / Accepted for publication 14.12.2018

Изложена история созидания и деятельности флагмана отечественного проектирования объектов тепловой и атомной энергетики Института (теперь АО) «Теплоэлектропроект».

Рассматриваются результаты деятельности Института в тяжелых условиях гражданской войны и иностранной военной интервенции, в мирное время и в годы Великой Отечественной Войны, в послевоенный период восстановления промышленных объектов народного хозяйства, во время реформирования энергетики России после распада СССР.

Описывается вклад в становление и развитие Института выдающихся ученых и организаторов промышленности на протяжении 100 лет существования Института.

Изложены достижения Института как в создании современной инфраструктуры энергетики России, так и строительстве электростанций за рубежом (Китай, Ирак, Индия и в других странах).

Качество проектных решений и проектной документации во многом зависело от технической оснащенности проектировщиков. ТЭП был инициатором и головной организацией в отрасли по внедрению в проектное дело вычислительной техники.

На протяжении многих лет Институт являлся кузницей руководящих кадров энергетики. Его воспитанниками были И. И. Угорец (заместитель министра электростанций СССР), Я. И. Финогенов (первый заместитель министра энергетики и электрофикации СССР), А. А. Троицкий (Минэнерго СССР и Госплан СССР), С. П. Гончаров (Минэнерго СССР) и др.

Благодаря колоссальному опыту, сплоченному коллективу Институту удалось сохранить лидирующее место в проектом секторе строительства тепловых электростанций. Коллектив Института активно работает над созданием проектов современных высокоэкономичных тепловых станций на органических видах топлива с паротурбинными, парогазовыми и газотурбинными установками. Институт создает современные, инновационные проекты, удовлетворяющие самые строгие запросы заказчиков и учитывающие требования промышленной и экологической безопасности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ТЭП, история создания ТЭП, перспективы

### **Адрес для переписки:**

Кропачев С. А.

АО Мособлэнерго

ул. Союзная, д. 9, 143006, г. Одинцово, Московская область, Россия

e-mail: [mr.kropachev.sergey@mail.ru](mailto:mr.kropachev.sergey@mail.ru)

### **Address for correspondence:**

Kropachev S. A.

JSC Mosoblenergo

Soyuznaya St, 9, 143006, Odintsovo, Moscow Region, Russia

e-mail: [mr.kropachev.sergey@mail.ru](mailto:mr.kropachev.sergey@mail.ru)

### **For citation:**

Kropachev S. A. [100 years of creation. On the jubilee of «Теплоэлектропроект»]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 274–279 (in Russian)

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-274-279>

### **Для цитирования:**

Кропачев С. А. 100 лет созидания. К юбилею «Теплоэлектропроекта». *Надежность и безопасность энергетики*. 2018. – Т. 11, №4. – С. 274–279

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-274-279>

## 100 years of creation. On the jubilee of «Teploelectroproekt».

**Kropachev S. A.**

JSC Mosoblenergo

Soyuznaya St, 9, 143006, Odintsovo, Moscow Region, Russia

The history is presented of creation and activities of Teploelectroproekt JSC (formerly, Teploelectroproekt Institute), a flagship company in Russian design of thermal and nuclear power facilities.

Results are considered of the Institute's activities in severe conditions of the Civil War and foreign military intervention, in times of peace and during the Great Patriotic War, at the post-war years of restoration of industrial facilities, during the reform of Russia's power sector after the breakdown of the USSR.

The contribution of distinguished scientists and engineers in formation and development of the Institute over its 100-year long history is described.

The Institute's achievements are presented in both the creation of modern infrastructure of Russia's power industry, and in construction of power plants abroad (in China, Iraq, India and other countries).

The quality of design solutions largely depended on the level of technical equipment of designers. TEP acted as the driving force and head organization of the industry in introduction of information technologies in design.

For many years, the Institute has been a talent pool for power industry executives. Among those who started their professional life there are I. I. Ugorets (USSR deputy power plant minister), Ya. I. Finogenov (USSR first deputy minister for power industry and electrification), A. A. Troitskiy (USSR Energy Ministry and USSR State Planning Committee), S. P. Goncharov (USSR Energy Ministry), to name just a few.

Due to its great experience and united team, the Institute could maintain its leading positions in the design of construction of thermal power plants. The Institute is actively engaged in working on creating projects of state-of-art high-performance thermal power plants operating on organic fuels with steam-turbine, steam-gas and gas-turbine units. The Institute creates advanced innovative projects meeting the most stringent demands of customers, in accordance with industrial and environmental safety requirements.

KEYWORDS: TEP, history of TEP creation, prospects

Флагману отечественного проектирования объектов тепловой и атомной энергетики, Институту Теплоэлектропроект, в октябре 2018 г. исполнилось сто лет. Он был создан в тяжелых условиях гражданской войны и иностранной военной интервенции. В эти годы центральные районы России были отрезаны от регионов добычи и поставок топлива (Донбасс, Баку и др.). Потребовался поиск реально доступных энергоносителей. Именно в годы гражданской войны были заложены основы реализации идей, которые на протяжении многих лет высказывали профессора МВТУ В. И. Гриневецкий и К. В. Кириш. В частности, были воплощены в жизнь их труды по созданию станций (котельных), работающих на подмосковном угле и торфе.

5 октября 1918 г. Президиум Высшего совета народного хозяйства (ВСНХ) учредил при Отделе электротехнических сооружений Центральный электротехнический совет (ЦЭС). На своей первой сессии 22 октября 1918 г. Совет принял постановления об образовании «Бюро по проектированию первых районных электрических станций на торфе» и «Бюро по проектированию районных станций на подмосковном угле (Проектное бюро)». Последнее и стало государственной проектной организацией, преобразованной в 1932 г. в трест «Теплоэлектропроект».



На фото Поливанов М. К. и Сушкин Н. И.

«Теплоэлектропроект».

Первыми руководителями Проектного бюро являлись выдающиеся российские ученые и организаторы промышленности Михаил Константинович Поливанов (1875–1927) и Николай Иванович Сушкин (1874–1936). При их активном участии были разработаны проекты Каширской, Кизелковской, Нижегородской, Штеровской и других ГРЭС и линий электропередач напряжением до 115 кВ. Оба руководителя принимали активное участие в создании и реализации плана ГОЭЛРО. Свою производственную работу Михаил Константинович и Николай Иванович успешно совмещали с научной, изобретательской и преподавательской деятельностью.

зован в Государственный научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт «Теплоэлектрпроект» (ГНИПИИ «Теплоэлектропроект») Минтопэнерго РФ.

В последующие годы Институт неоднократно реорганизовывался. В частности, ряд лет, в рамках процедуры реформирования электроэнергетики России, он входил в Инженерный центр ЕЭС.

В 2010 г. Институт был реорганизован в форме выделения из ОАО «Инженерный центр ЕЭС». С этого времени продолжилась самостоятельная деятельность Открытого акционерного общества «Институт Теплоэлектрпроект». 22 декабря 2011 г. акционером, обладающим его контрольным пакетом акций, стало ОАО «Теплоэнергетическая компания Мосэнерго» (В настоящее время — АО «ТЭК Мосэнерго»).

По разработкам Института построены почти все тепловые и многие атомные электростанции в России и странах СНГ. По проектам Института сооружены линии электропередач, системы теплоснабжения, а также значительное число зарубежных электростанций в странах Европы, Азии, Африки и Латинской Америке.

Только за последнее десятилетие по проектам ТЭП введены в эксплуатацию ТЭС преимущественно на базе гозотурбинных установок мощностью от 45 до 270 МВт в составе ПГУ или ГТУ — Пермские ТЭЦ-6 и ТЭЦ-9, Кировская ТЭЦ-3, Нижнеартовская ГРЭС, Южноуральская ГРЭС-2, Невинномысская ГРЭС, Нижнетуринская ГРЭС, Шатурская ГРЭС, Сочинская ТЭС, Калининградская ТЭЦ-2, ТЭС ММДЦ «Москва-Сити», Ивановская ТЭЦ, Новогорьковская ТЭЦ и др., а также пылеугольный блок мощностью 660 МВт Троицкой ГРЭС.

В процессе строительства или реконструкции по проектам Института находятся Сахалинская ГРЭС-2, Якутская ГРЭС-2, Нижнекамская ТЭЦ-2. Сегодня идет разработка проекта Амурской ТЭС для обеспечения нужд Амурского газоперерабатывающего завода, важного звена технологической цепочки будущих поставок природного газа в Китай по газопроводу «Сила Сибири».

Сегодня, благодаря колоссальному опыту, сплоченному коллективу, которым руководит известный энергетик Ильяс Шамилович Загретдинов, Институту удалось сохранить лидирующее место в проектно-строительном секторе строительства тепловых электростанций. Коллектив Института активно работает над созданием проектов современных высокоэкономичных тепловых электростанций на органических видах топлива с паротурбинными, парогазовыми и газотурбинными установками. Институт создает современные, инновационные проекты, удовлетворяющие самые строгие



На фото Загретдинов И. Ш.

запросы заказчиков и учитывающие требования промышленной и экологической безопасности.

#### Список использованных источников

1. Волкевич И. Л. Очерки истории Московского высшего технического училища. М. 2000;: 240.
2. Кропачев С. А. История российской энергетики в лицах. Первая половина XX века. Краснодар 2017;: 40.
3. Теплоэлектропроект. Вклад в электроэнергетику. К 80-летию со дня основания. М. 2000;: 270.
4. Федоров И. Б., Павлихин Г. П. Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. 175 лет. М. 2005;: 352.
5. Электроэнергетика России. История и перспективы развития. М. 1997;: 306.

#### References

1. Volkevich I. L. Outline of the history of Moscow State Technical University. M. 2000;: 240.
2. Kropachev S. A. History of Russian power engineering: most influential persons. The first half of the 20th century. Krasnodar, 2017;: 40.
3. Teploenergoproekt. Contribution to power engineering. On the 80th anniversary. M. 2000;: 270.
4. Fedorov I. B., Pavlikhin G. P. Bauman Moscow State Technical University. 175 years. M. 2005;: 352.
5. Power engineering of Russia. History and prospects of development. M. 1997;: 306.



## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-280-287>

УДК: 621.311

# Направления и результаты исследований надежности систем энергетики

**Воропай Н. И., Федотова Г. А.\***

Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирское отделение Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)  
ул. Лермонтова, 130, 664033, г. Иркутск, Россия

Поступила / Received 18.09.2018

Принята к печати / Accepted for publication 20.11.2018

Статья посвящена постоянно действующему научному семинару “Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики”, который как всесоюзный начал свою деятельность в 1973 г. в Иркутске при Сибирском энергетическом институте СО АН СССР. Сегодня это Международный научный семинар имени академика Ю. Н. Руденко, известный в кругах ученых и практиков энергетической отрасли в России, странах ближнего и дальнего зарубежья. Системы энергетики (СЭ) — электроэнергетические, газо-, нефте- и нефтепродуктоснабжающие, теплоснабжающие и другие, при всем разнообразии их физической природы, структурных свойств и особенностей функционирования, обладают определенной общностью процессов производства, транспорта, распределения и накопления энергоресурсов. Это, а также их взаимозависимость и взаимосвязи в составе топливно-энергетического комплекса позволяют при необходимом уровне абстрагирования, особенно в аварийных условиях, использовать идентичные приемы и методы исследования и обеспечения надежности СЭ, что и послужило основанием организатору семинара Ю. Н. Руденко сформулировать его межотраслевой статус.

В 2018 г. семинару исполнилось 45 лет и к этой дате семинар пришел как признанная и авторитетная международная интеллектуальная площадка для обсуждения и решения актуальных задач надежности СЭ, межотраслевых проблем исследования и обеспечения надежности и энергетической безопасности. Широкий спектр рассмотренных на заседаниях семинара проблем надежности СЭ и полученные результаты их решения представлены в статье. Особое внимание уделяется работам, инициированным семинаром и выполненным при использовании результатов исследований семинара по упорядочению терминологий в области надежности СЭ и энергетической безопасности, по разработке концепции обеспечения надежности в электроэнергетике и межгосударственных стандартов по надежности в технике, гармонизированных с международными стандартами. Семинар продолжает уверенно функционировать благодаря активной работе его участников по интеграции и развитию знаний в области надежности СЭ и энергетической безопасности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Международный научный семинар, системы энергетики, топливно-энергетический комплекс, надежность, живучесть, энергетическая безопасность, результаты исследований

### Благодарности

Результаты работы, представленные в статье, получены в ходе выполнения НИР в рамках базового проекта программы СО РАН III 17.5.3. “Методические основы учета фактора надежности при управлении развитием интеллектуальных энергетических систем”, рег. № АААА - А 17 - 117030310450-3.

### Адрес для переписки:

Федотова Г. А.  
Институт систем энергетики СО РАН  
ул. Лермонтова, 130, 664033, г. Иркутск, Россия  
e-mail: fedotova@isem.irk.ru

### Address for correspondence:

Fedotova G. A.  
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS  
130, Lermontov str., 664033, Irkutsk, Russia  
e-mail: fedotova@isem.irk.ru

### Для цитирования:

Воропай Н. И., Федотова Г. А. Направления и результаты исследований надежности систем энергетики. Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. – С. 280–287  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-280-287>

### For citation:

Voropai N. I., Fedotova G. A. [Areas and results of research on reliability of energy systems]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 280–287 (in Russian)  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-280-287>

## Areas and results of research on reliability of energy systems

**Voropai N. I., Fedotova G. A.\***

*Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
130, Lermontov str., 664033, Irkutsk, Russia*

The paper is devoted to the standing Scientific Workshop “Methodological problems in research on reliability of large energy systems”, which was organized in 1973 in Irkutsk at the Siberian Energy Institute of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences as a nation-wide workshop. Nowadays it is the International Scientific Workshop named after Academician Yu. N. Rudenko, which is well known in the community of scientists and experts in the energy sector of Russia, the former Soviet republics and other countries. Energy systems (ES) — those based on electricity, gas, oil and oil products, heat, etc., though diverse in terms of their physical nature, structural properties and specifics of functioning, have a certain commonality in the processes of production, transportation, distribution and storage of energy resources. Moreover, the interconnections and interdependence of energy systems within the fuel and energy sector, especially in emergency conditions, make it possible, at a necessary level of abstraction, to use identical techniques and methods of research, and ensure their reliability. All this allowed Yu. N. Rudenko, the organizer of the scientific workshop, to assign the workshop with its cross-sectoral status.

In 2018, the workshop celebrated its 45-year anniversary; the workshop had come to the date as a recognized and highly respected international intellectual platform for discussing and solving urgent issues of reliability of energy systems, cross-sectoral problems of studying and ensuring reliability and energy security. The paper presents a wide range of problems of ES reliability considered at the workshop sessions, as well as the results of solving the same. Special attention is paid to works initiated by the workshop and fulfilled using the results of studies of the workshop on unification of terminology in reliability of ES and energy security, the development of a concept of reliability in power industry and interstate technology reliability standards harmonized with international standards. The workshop continues to function successfully owing to its activities related to the integration and development of knowledge in the field of reliability of energy systems and energy security.

KEYWORDS: International Scientific Workshop, energy systems, energy sector, reliability, survivability, energy security, controllability, results of studies

### Acknowledgments

The results of the work presented in the article were obtained during the implementation of research in the framework of the scientific project III 17.5.3 of the fundamental research program of SB RAS, reg. No. AAAA-A 17 - 117030310450-3.

Понятие “системы энергетики” (СЭ) объединяет множество систем с различными физическими и структурными свойствами: электроэнергетические, газоснабжающие, нефте- и нефтепродуктоснабжающие, тепло- и водоснабжающие, углеснабжающие и др. При всем многообразии, системы энергетики обладают общей спецификой, требующей их совместного рассмотрения с точки зрения надежности энергообеспечения. Это определяется их взаимосвязями в рамках топливно-энергетического комплекса (ТЭК), территориальной распределенностью, иерархической организацией самих систем и структуры управления ими.

Надежность СЭ базируется на основных положениях теории надежности технических систем, которая исторически получила свое развитие в связи с потребностями электронной отрасли. Методы, сложившиеся в теории надежности, были предназначены, в основном, для решения задач надежности, возникающих на уровне отдельных устройств, комплексов и систем локального характера. Долгое время теория надежности не использовалась для решения проблем надежности территориально-распределенных, протяженных в пространстве технических систем. В энергетике приходится иметь дело с большими территориально распределенными системами, для исследования надежности

которых общие подходы теории надежности, как правило, оказываются недостаточными. Для СЭ характерна весьма специфическая и в то же время разнообразная физическая природа входящих в их состав элементов и подсистем (энергоблоки электростанций и линии электропередачи, нефте- и газопроводы, нефтеперерабатывающие заводы и т. д.). Структура производства и потребления топливно-энергетических ресурсов и различные свойства СЭ таковы, что возникает потребность вводить новые критерии работоспособности, новые показатели надежности и эффективности функционирования. Все это приводит к необходимости разработки специальных методов исследования и обеспечения надежности СЭ, математических моделей и алгоритмов.

Организованный академиком Ю. Н. Руденко научный семинар имел целью объединить исследователей многогранной проблемы надежности СЭ. И цель достигнута. Семинар выработал общую терминологическую базу, классифицировал влияющие на надежность СЭ процессы и факторы, на основе принципов и методов теории надежности, как общенаучной дисциплины, определил общую методологию исследований, предложил множество практических решений современных задач управления надежностью и безопасностью

ученого И. А. Ушакова, одного из ведущих специалистов в теории надежности технических систем, ушедшего из жизни 27 февраля 2015 г. Игорь Алексеевич Ушаков был активным участником семинара, совместно с Ю. Н. Руденко им были написаны ряд статей по надежности в энергетике, книга “Надежность систем энергетики” и первый том Справочника по надежности СЭ, ставших основополагающими научными трудами в области надежности больших систем энергетики. Текст воспоминаний о нем размещен на сайте семинара. И. А. Ушаков — автор нескольких сотен научных статей и книг, более десятка книг по прикладной математике, организатор и первый руководитель Форума Гнеденко <http://www.gnedenko-forum.org/> — внес большой вклад в становление науки о надежности технических систем вообще и надежности СЭ в частности.

Неотъемлемой частью исследований в области надежности СЭ являются совершенствование и развитие терминологической базы, национальных и межгосударственных стандартов, их гармонизация с международными стандартами и иными нормативными документами. С целью обновления действующих, но устаревших стандартов по надежности технических объектов, по инициативе руководителя технического комитета по стандартизации ТК 119 “Надежность в технике” Г. Н. Черкесова с участием постоянных участников семинара были разработаны два новых межгосударственных стандарта: ГОСТ 27.002-2015 “Надежность в технике. Термины и определения” (введен в действие 01.03.2017 г. взамен ГОСТ 27.002-89) <http://docs.cntd.ru/document/1200136419> и ГОСТ 18322-2016 “Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения” <http://docs.cntd.ru/document/1200144954> (введен в действие 01.09.2017 г. взамен ГОСТ 18322-78). Новые стандарты входят в систему межгосударственных стандартов надежности в технике, отвечают современным требованиям по надежности технических объектов, учитывают отечественный опыт стандартизации в серии национальных стандартов по надежности ГОСТ 27.002 и гармонизированы с международным стандартом IEC 60050-192. Современные проблемы стандартизации надежности в технике обсуждались на 87-м заседании (2015 г.) семинара [11].

Юбилейное 90-е заседание семинара, посвященное его 45-летию, традиционно проходило в Иркутске (оз. Байкал, июль 2018 г.). Тематика заседания включала большой перечень вопросов в области надежности развивающихся систем энергетики и энергетической безопасности: инновационные энергетические технологии и их влияние на надежность систем энергетики; возрастающие требования потребителей к надежности энергоснабжения в инфраструктурных системах энергетики; интегрированные энергетические системы и особенности оценки и обеспечения их надежности; новые факторы, определяющие энергетическую безопасность на различных уровнях, их моделирование и исследование; модели и методы оценки надежности

интеллектуальных энергетических систем; информационные технологии в задачах надежности развивающихся систем энергетики и др. Активное участие в работе заседания принимали представители энергетических компаний, из 92-х представленных докладов ими подготовлены 27, в т. ч. в соавторстве со специалистами из НИИ и Вузов. Ряд результатов исследований, доложенных авторами из НИИ и Вузов, выполнены по заказам энергетических компаний. Все это свидетельствует об интеграции науки и практики в рамках семинара и ее эффективности.

## Заключение

Международный научный семинар “Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики” им. Ю. Н. Руденко состоялся как уникальная интеллектуальная площадка для детального и заинтересованного обсуждения широкого круга актуальных проблем исследования и обеспечения надежности систем энергетики и энергетической безопасности. Каждый, кто однажды впервые принял участие в работе Семинара, становится его постоянным активным участником, это предопределяет творческая, требовательная и в то же время доброжелательная атмосфера заседаний. Семинар можно назвать молодежным, поскольку треть участников его заседаний, как правило, составляют молодые ученые, успешно завоевывающие признание и свою нишу в решении современных проблем надежности. Семинар выжил в непростые 1990-е, продолжает уверенно функционировать в настоящее время благодаря активной работе его участников и будет продолжать свою благородную миссию по интеграции знаний специалистов по различным актуальным проблемам надежности современных и будущих систем энергетики, продвижению методических результатов в повседневную практику.

## Список использованных источников

1. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник в 4-х томах. Под общей редакцией Ю. Н. Руденко: Т.1 1994: 480; Т. 2 2000: 568; Т. 3 1994, кн. 1: 414, кн. 2: 288; Т. 4 2000: 351.
2. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. Под ред. Н. И. Воропая. Новосибирск: Наука 1999: 434.
3. Юрий Николаевич Руденко: Воспоминания о жизни и деятельности. Отв. ред. Н. И. Воропай. Новосибирск: Изд. СО РАН; 2002: 328.
4. Надежность систем энергетики: Сборник рекомендуемых терминов. Отв. ред. Н. И. Воропай. М.: ИАЦ “Энергия” 2007: 192.
5. Манов Н. А., Хохлов М. В., Чукреев Ю. Я. и др. Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН 2010: 292.
6. Пяткова Н. И., Рабчук В. И., Сендеров С. М. и др. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения. Новосибирск: Изд. СО РАН 2011: 198.
7. Сендеров С. М., Рабчук В. И., Пяткова Н. И. и др. Обеспечение энергетической безопасности России: выбор приоритетов. Новосибирск: Наука 2017: 116.
8. Воропай Н. И., Ковалев Г. Ф., Кучеров Ю. Н. и др. Концепция

обеспечения надежности в электроэнергетике. М.: ООО ИД “Энергия” 2013;: 304.

9. Дьяков А. Ф., Стенников В. А., Сендеров С. М. и др. Надежность систем энергетики: проблемы, модели и методы их решения. Новосибирск: Наука 2014;: 284.

10. Ковалев Г. Ф., Лебедева Л. М. Надежность систем электроэнергетики. Новосибирск: Наука 2015;: 224.

11. Fedotova G. A., Voropai N. I. and Kovalev G. F. Dependability of Technical Items: Problems of Standardization. Thermal Engineering 2016; 63(14): 978–982. DOI 10.1134/S00 40 601516140056.

## References

1. Reliability of energy systems and their equipment: Reference book in 4 volumes. Editor Rudenko Yu. N. V.1 1994: 480; V.2 2000: 568; V.3 1994, book 1: 414, book 2: 288; V. 4 2000;: 351. (In Russ.)

2. Reliability of energy systems: achievements, problems, prospects. Editor Voropai N. I. Novosibirsk: Nauka 1999;: 434. (In Russ.)

3. Yury Nikolaevich Rudenko: Reminiscences about life and activity. Editor Voropai N. I. compiled by Koshelev A. A., Fedotova G. A. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS 2002;: 328. (In Russ.)

4. Reliability of energy systems. Collection of recommended terms. Editor Voropai N. I. M.: IAC “Energiya” 2007;: 192. (In Russ.)

5. Manov N. A., Khokhlov M. V., Chukreev Yu. Ya. et al. Methods and models for reliability study of electric power systems. Syktyvkar: Komi scientific center of Ural Branch of RAS 2010;: 292. (In Russ.)

6. Pyatkova N. I., Rabchuk V. I., Senderov S. M. et al. Energy security of Russia: problems and solution approaches. Novosibirsk Publishing House of SB RAS 2011;: 198. (In Russ.)

7. Senderov S. M., Rabchuk V. I., Pyatkova N. I. et al. Energy security control of Russia: selection of priorities. Novosibirsk: Nauka 2017;: 116. (In Russ.)

8. Voropai N. I., Kovalev G. F., Kucherov Yu. N. et al. Concept of reliability control in electric power industry. Moscow: LLC Publishing House “Energiya” 2013;: 304. (In Russ.)

9. Diakov A. F., Stennikov V. A., Senderov S. M. et al. Reliability of energy systems: problems, models and methods for solving them. Novosibirsk: Nauka 2014;: 284. (In Russ.)

10. Kovalev G. F., Lebedeva L. M. Reliability of electric power systems. Novosibirsk: Nauka 2015;: 224. (In Russ.)

11. Fedotova G. A., Voropai N. I., Kovalev G. F. Dependability of Technical Items: Problems of Standardization. Thermal Engineering. 2016; 63(14): 978–982. (In Eng.) DOI 10.1134/S00 40 601516140056.



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-288-293>  
УДК 621.928.9

## Повышение надежности, энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС

**Замалиева А. Т.<sup>1\*</sup>, Зиганшин М. Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Газпром трансгаз Казань»

пер. Маяковского, д. 3, 422000, г. Арск, Россия

<sup>2</sup> Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ул. Зеленая, д. 3, 420043, г. Казань, Россия

Поступила / Received 31.10.2018

Принята к печати / Accepted for publication 20.11.2018

Энергетика является базовой отраслью экономики и крупнейшим потребителем первичных энергетических ресурсов любой страны, в силу чего развитие мировой энергетики сопровождается глобальным давлением на окружающую среду. Рассмотрены вопросы снижения атмосферного воздействия выбросов тепловых электростанций, повышения надежности и рабочего ресурса их агрегатов, систем и станций в целом. Изложены принципы разработки и совершенствования технологий обработки производственных выбросов ТЭС, обезвреживание которых на сегодняшний день актуально в региональном и глобальном масштабах. Проведен анализ существующих способов циклонной и фильтрационной обработки. Предложена усовершенствованная конструкция циклона-фильтра, позволяющая повысить надежность работы газотурбинных и парогазовых установок ТЭС, с обеспечением эффективности отделения взвешенной части потока в пункте подготовки газа (ППГ) ТЭС. Аналогичные устройства могут быть применены для повышения степени очистки от мелкодисперсных частиц классов PM10, PM2.5 (угольной пыли и золы) атмосферных выбросов систем пылеприготовления и дымовых газов ТЭС при угольной генерации, вследствие уменьшения размера улавливаемых частиц со средних для циклонов и мокрых скрубберов значений порядка 5–10 мкм до 0,5 мкм. Конструкция циклона-фильтра усовершенствована на основе исследований циклонной фильтрации методами вычислительной гидродинамики Computational Fluid Dynamics (CFD). Для математического моделирования потока в циклоне-фильтре использована система осредненных по Рейнольдсу уравнений движения однофазного потока Навье-Стокса. Для определения эффективности отделения взвешенной части использован комплекс Reg, полученный путем приведения к безразмерному виду системы, состоящей из уравнений Навье-Стокса и уравнения движения частиц, основанного на законе Ньютона. С помощью комплекса Reg найдены расчетным путем числовые характеристики осаждения взвеси из многофазного потока в циклонном сепараторе заданных размеров. Приведены результаты стендовых испытаний предлагаемой конструкции циклона-фильтра.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** циклон, фильтр, сепарация, степень очистки, метод моделирования, энергозатраты, парниковые газы

### Адрес для переписки:

Замалиева А. Т.  
ООО «Газпром трансгаз Казань»  
пер. Маяковского, 3, 422000, г. Арск, Россия  
e-mail: Albina-0587@rambler.ru

### Address for correspondence:

Zamalieva A. T.  
LLC "Gazprom transgaz Kazan"  
Mayakovskogo str., 3, 422000, Arsk, Russia  
e-mail: Albina-0587@rambler.ru

### Для цитирования:

Замалиева А. Т., Зиганшин М. Г. Повышение надежности, энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС. Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. С. 288–293  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-288-293>

### For citation:

Zamalieva A. T., [Improving the reliability, as well as energy and environmental efficiency of gas cleaning systems at TPP]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 288–293 (in Russian)  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-288-293>

## Improving the reliability, as well as energy and environmental efficiency of gas cleaning systems at TPP

Zamalieva A. T.<sup>1\*</sup>, Ziganshin M. G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LLC "Gazprom transgaz Kazan"  
Mayakovskogo str., 3, 422000, Arsk, Russia

<sup>2</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering  
Zelenaya str., 3, 420043, Kazan Russia

Energy is the basic sector of the economy and the largest consumer of primary energy resources of any country, which is why the development of world energy is accompanied by global pressure on the environment. The issues are considered of reducing the atmospheric impact of emissions of thermal power plants, improving the reliability and working life of their units, systems, and plants as a whole. The principles are presented of development and improvement of technologies for processing industrial emissions of thermal power plants, the neutralization of which is currently relevant on a regional and global scale. Analysis is carried out of existing methods of cyclone and filtration treatment. An improved design of a cyclone filter is proposed, which allows to increase the reliability of gas turbine and steam-gas units of TPP, while ensuring the efficiency of separation of the suspended part of the flow at the gas treatment point (GTP) of TPP. Similar devices can also be used to increase the degree of cleaning atmospheric emissions released by the TPP coal dust preparation and flue gas systems at coal generation from fine particles of PM10 and PM2,5 classes (coal dust and ash), owing to reduction of the size of caught particles from average values for cyclones and wet scrubbers of the order of 5–10  $\mu\text{m}$  to 0.5  $\mu\text{m}$ . The design of the cyclone filter is improved as a result of research of cyclone filtration by methods of Computational Fluid Dynamics (CFD). A system of Reynolds-averaged equations of a single-phase Navier-Stokes flow is used for mathematical modeling of motion in the cyclone filter. To determine the efficiency of separation of the suspended part of the flow in the cyclone filter, the  $Rer$  complex is used obtained by reducing a set comprising the Navier-Stokes equations and the equation of particle motion based on Newton's law to a dimensionless form. Numerical characteristics of the suspension sedimentation from a multiphase flow in a cyclone separator of specified dimensions are found by means of the  $Rer$  complex. The results of bench tests of the proposed design of the cyclone filter are given.

Keywords: cyclone, filter, separation, separation efficiency, simulation method, energy consumption, greenhouse gases

Энергетика является базовой отраслью экономики и крупнейшим потребителем первичных энергетических ресурсов любой страны, в силу чего развитие мировой энергетики сопровождается глобальным давлением на окружающую среду. Однако неосмысленные действия по ограничению ее развития в глобальных или национальных масштабах также могут привести к негативным последствиям, так как от состояния энергетики зависят темпы роста и стабильность работы всех отраслей хозяйства, и в том числе, возможность применения новых, как правило, экологически более чистых технологий. Так, например, наблюдаемое в последние десятилетия снижение негативного воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду обусловлено широким внедрением комбинированной парогазовой технологии производства энергии, использованием комплекса технологических мер подавления оксидов азота, а также современного золоулавливающего оборудования на угольных ТЭС. Вместе с тем в последние годы наблюдается замедление темпов снижения выбросов золы и диоксида серы. Энергетическая стратегия России предусматривает опережающее развитие угольной генерации, что будет сопровождаться ростом экологической нагрузки на все компоненты окружающей природной среды. Следовательно, необходимы разработки и внедрения новых поколений очистных устройств с повышенной экологической эффективностью при тех же

или пониженных энергетических затратах на объектах Российской электроэнергетики, которая имеет порядка 600 тепловых электростанций с общей установленной мощностью на начало 2018 г. около 170 ГВт.

В результате ввода в эксплуатацию в 2010–2018 гг. преимущественно газовых генерирующих мощностей (ПГУ/ГТУ) их доля в структуре установленной электрической мощности ТЭС в европейской части России достигла около 85%. Постепенное снижение в 2010–2016 гг. среднего значения удельного расхода условного топлива на ТЭС, относимого на отпуск электроэнергии, очевидно, связано с увеличением доли парогазового оборудования тепловых станций. Поэтому тенденция на обновление генерирующих мощностей с уменьшением доли паровых турбин будет устойчивой и в среднесрочной перспективе: только на газовых ТЭС мощностью более 200 МВт (эл.) эксплуатируется около 300 паровых турбин мощностью 60–110 МВт, которые целесообразно заменить газовыми.

Энергетический комплекс Республики Татарстан является основополагающей отраслью для развития практически всех отраслей экономики в регионе и энергетической базой ее флагманов – объектов нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и машиностроительной отраслей. Обновление энерго мощностей в означенном выше тренде ведется в Татарстане более чем активно. До 2019 г. предусмо-

составляющую весьма проблемно из-за искажения измерительной головкой щупа термоанемометра структуры потока в области замеров. Поэтому приведенные на рисунке 2 значения радиальных составляющих скорости потока в циклоне были получены посредством численного эксперимента.

Таким образом, проведенные исследования позволяют создать конструкцию промышленного образца усовершенствованного циклона-фильтра для испытания в производственных условиях. Применение аппарата предлагаемой конструкции позволит замедлить износ рабочих поверхностей дожимающих компрессоров ДКС и повысить рабочий ресурс лопаток ГТУ вследствие существенного уменьшения диаметра отсекающего и высокой эффективности осаждения взвеси из топливного газа. Применение циклонного фильтра позволяет также достичь увеличения производительности очистных устройств с улучшением качества очистки газа. Это выражается в уменьшении размера частиц, уловленных на 50% со средних значений для обычных циклонов 5–10 микрон до 1,6 мкм, как показали кратковременные испытания, и до 0,5 мкм при продолжительности работы, соответствующей типовым производственным условиям (сутки и более). Как уже отмечалось, указанное улучшение качества очистки не требует существенного увеличения затраты энергии, а на сегодняшний день энергосбережение — единственный реальный путь снижения выбросов парниковых газов и выполнения обязательств, принятых Российской Федерацией по Парижскому соглашению об изменении климата.

#### Список использованных источников

1. Brunnmair E. Entwicklung und modellierung eines neuen Hochleistungszyklons zur trennung von feststoff. Gas-Gemischen: dissertation zur erlangung des akademischen gradeseines doktors der montanistischen wissenschaften. Montanuniversität Leoben 2015; (8): 168–171.
2. Balestrin E., Decker R. K., Noriler D., Bastos J. C. S. C., Meier H. F. An alternative for the collection of small particles in cyclones: experimental analysis and CFD modeling. Separation and purification technology 2017; (4): 54–65.
3. Mazyan W. I., Ahmadi A., Ahmed H., Hoorfar M. Increasing efficiency of natural gas cyclones through addition of tangential chambers. Journal of aerosol science 2017; (2): 36–42.
4. Osama Hamdy, Magdy A. Bassily, Hesham M. El-Batsh, Tarek A. Mekhail. Numerical study of the effect of changing the cyclone cone length on the gas flow field. Applied mathematical modelling 2017; (6): 81–97.
5. Замалиева А. Т., Зиганшин М. Г., Потапова Л. И. Об эффективности существующих методов циклонной фильтрации при осаждении мелкодисперсных частиц классов PM10, PM2,5. Известия КазГАСУ 2017; 4(42): 415–424.
6. Зиганшин М. Г. Системы очистки выбросов ТЭС. Часть 2. Оцен-

ки эффективности, верификация критериев оценки: Монография. – Казань: КГЭУ 2013; (212).

7. Зиганшин А. М. Снижение энергозатрат при движении потоков путем профилирования фасонных частей в коммуникациях энергоустановок. Надежность и безопасность энергетики 2015; 1(28): 63–68.
8. Зиганшин А. М., Алещенко И. С., Зиганшин М. Г. и др. Соединительный фасонный элемент с профилирующими вставками. Патент №2604264 (РФ). Бюллетень изобретений 2016; (13).
9. Logachev K. I., Ziganshin A. M., Averkova O. A., Logachev A. K. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods. Energy & Buildings 2018; (2): 120–123.
10. Беляева Г. И., Зиганшин М. Г. Повышение энергоэффективности применения батарейного циклона для очистки природного газа. Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции/материалы III Международной конференции 2016; (3): 459–463.

#### References

1. Brunnmair E. Entwicklung und modellierung eines neuen Hochleistungszyklons zur trennung von feststoff. Gas-Gemischen: dissertation zur erlangung des akademischen gradeseines doktors der montanistischen wissenschaften. Montanuniversität Leoben 2015; (8): 168–171.
2. Balestrin E., Decker R. K., Noriler D., Bastos J. C. S. C., Meier H. F. An alternative for the collection of small particles in cyclones: experimental analysis and CFD modeling. Separation and purification technology 2017; (4): 54–65.
3. Mazyan W. I., Ahmadi A., Ahmed H., Hoorfar M. Increasing efficiency of natural gas cyclones through addition of tangential chambers. Journal of aerosol science 2017; (2): 36–42.
4. Osama Hamdy, Magdy A. Bassily, Hesham M. El-Batsh, Tarek A. Mekhail. Numerical study of the effect of changing the cyclone cone length on the gas flow field. Applied mathematical modelling 2017; (6): 81–97.
5. Zamalieva A. T., Ziganshin M. G., Potapova, L. I., of the effectiveness of existing methods, the cyclone filtration by sedimentation of fine particle classes PM10, PM2.5. KGASU 2017; 4(42): 415–424.
6. Ziganshin M. G. Systems of cleaning of emissions of thermal power plant. Part 2. Monograph. Kazan: publishing KGEU 2013; (212).
7. Ziganshin A. M. Reduction of energy costs in the movement of flows by profiling the shaped parts in the communications of power plants. Reliability and safety of energy 2015; 1(28): 63–68.
8. Ziganshin A. M., Aleshchenko I. S., Ziganshin M. G. Connecting shaped element with profiling inserts. Patent №2604264 (RF). Bull 2016; (13).
9. Logachev K. I., Ziganshin A.M., Averkova O. A., Logachev A. K. A survey of separated air flow patterns at inlet of circular exhaust foods. Energy & Buildings 2018; (2): 120–123.
10. Belyaeva G. I., Ziganshin M. G. Improving the energy efficiency of the use of the battery cyclone for natural gas purification. in sat. New in architecture, design of building structures and reconstruction/ materials of the III International conference 2016; (3): 459–463.



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-294-298>  
УДК 621.315.1

## Оценка надежности воздушной линии электропередачи с расщепленной резервной фазой

**Васильев П. Ф.\***, Нестеров А. С., Кобылин В. П.

ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук  
ул. Октябрьская 1, 677891, г. Якутск, Россия

Поступила / Received 08.08.2018

Принята к печати / Accepted for publication 17.10.2018

Передача электрической энергии является важнейшей составляющей электроэнергетической системы. Оптимизация, модернизация транспортной системы электроэнергетики, увеличение пропускной способности, а также вариативности схем подключения при условии сохранения требуемого уровня надежности и безопасности являются на сегодняшний день актуальными задачами в целом для энергетической отрасли. Рассмотрен вопрос определения эффективности работы схемно-технического решения для двухцепной трехфазной линии электропередачи с дополнительным режимом работы — «с расщепленной резервной фазой» и определению ее основных показателей надежности. Подробно представлено схемно-техническое решение для двухцепной линии электропередачи с расширением режимов работы. Функциональное резервирование линии электропередачи в соответствии со схемно-техническим решением основано на переключении традиционной двухцепной линии электропередачи в аварийном режиме на режим одноцепной с расщепленной фазой, в качестве которой выступает вторая рабочая цепь. Рассмотрены пути повышения натуральной мощности двухцепной линии электропередачи. Приведены результаты расчета пропускной способности линии с расщепленной резервной фазой и сравнения основных параметров воздушных линий электропередачи с дополнительным режимом работы — с расщепленной резервной фазой и линий электропередачи в традиционных режимах работы. Представлены результаты расчетов показателей надежности, такие, как вероятные относительные числа часов перерыва электроснабжения и недоотпуска электрической энергии. Сопоставление вариантов показало, что вероятный относительный недоотпуск электрической энергии двухцепной воздушной линии электропередачи с дополнительным режимом работы — с расщепленной резервной фазой, меньше приблизительно на 13%, чем традиционной двухцепной, что положительно скажется на маневренности и надежности работы всей системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** воздушная линия электропередачи, пропускная способность, волновое сопротивление, функциональное резервирование, расщепленная резервная фаза

### Благодарности

Результаты работы, представленные в статье, получены в ходе выполнения НИР в рамках Госзаказа (проект АААА-А17-117080910032-0).

### Адрес для переписки:

Васильев П. Ф.  
ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук  
ул. Октябрьская 1, 677891, г. Якутск, Россия  
e-mail: kb-8@mail.ru

### Address for correspondence:

Vasilyev P. F.  
Larionov Institute of physical and technical problems of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
Oktyabrskaya St., 1, 677891, Yakutsk, Russia  
e-mail: kb-8@mail.ru

### For citation:

Vasilyev P. F., Nesterov A. S., Kobylin V. P. [Assessment of reliability of an overhead transmission line with a split back-up phase]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 294–298. (in Russian). <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-294-298>

### Для цитирования:

Васильев П. Ф., Нестеров А. С., Кобылин В. П. Оценка надежности воздушной линии электропередачи с расщепленной резервной фазой. *Надежность и безопасность энергетики*. 2018. – Т. 11, №4. – С. 294–298. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-294-298>

## Assessment of reliability of an overhead transmission line with a split back-up phase

Vasilyev P. F.\*, Nesterov A. S., Kobylin V. P.

Larionov Institute of physical and technical problems of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
Oktyabrskaya St., 1, 677891, Yakutsk, Russia

Transmission of electrical energy is the most important component of an electric power system. Optimization, modernization of the electric power transport system, increasing the capacity, as well as variability of connection arrangements, while maintaining the required level of reliability and safety, is regarded today as an urgent task for the energy industry as a whole. The article is devoted to the problem of determining the efficiency of the circuit design solution for a double-circuit three-phase power transmission line with an additional mode of operation — «with a split back-up phase» and determining its main reliability indicators. A circuit design solution for a double-circuit power transmission line with expansion of operating modes is presented in detail. The functional redundancy of the transmission line in accordance with the circuit design solution is based on switching of a conventional double-circuit power transmission line in the emergency mode to the single-circuit split-phase mode, which is the second working circuit. The ways of increasing the natural power of a double-circuit power transmission line are considered. The results of calculation of the capacity of a line with a split back-up phase and a comparison of the main parameters of overhead transmission lines with an additional mode of operation — with a split back-up phase — and power lines in conventional modes of operation, are presented. The results of calculations of reliability indicators are presented, such as the probable relative number of hours of interruption of power supply and the undersupply of electrical energy. A comparison of options have shown that the probable relative under-supply of the electric power of a double-circuit overhead transmission line with an additional operating mode — with a split back-up phase, is lower by approximately 13% than that of a conventional double-circuit power line, which will positively affect the maneuverability and reliability of the entire system.

KEYWORDS: transmission power line, line capacity, wave impedance, functional redundancy, split back-up phase

Развитие электрических сетей является одним из важнейших показателей уровня электроэнергетики страны. В России более 50% оборудования электрических сетей выработало расчетный ресурс, хотя еще сохраняет достаточную работоспособность. В то же время ухудшение технического состояния электрических сетей приводит к росту числа отказов воздушных линий (ВЛ) электропередач и силового оборудования подстанций. В связи с данным обстоятельством в настоящее время остро встает задача реконструкции и/или модернизации электрических сетей, что требует, прежде всего, огромных капитальных вложений. С данной точки зрения задача выбора оптимального технического решения для ВЛ с необходимой степенью надежности при увеличении пропускной способности является наиболее актуальной.

Известно, что основные способы повышения натуральной мощности линии достигаются за счет увеличения номинального напряжения сети; уменьшения волнового сопротивления линии, которое достигается за счет расщепления фазных проводов [1] и за счет конструктивного изменения ВЛ путем компактизации геометрических параметров; применения устройств продольной компенсации и управляемых источников реактивной мощности на промежуточных подстанциях [2–5].

Необходимо отметить большой прогресс управляемых линий электропередачи переменного тока, известных за рубежом как FACTS, а также шестифазных линий электропередачи, повышающих натуральную

мощность линии на 50–70% [6, 7], недостатком которых является пониженная надежность по сравнению с двухцепными.

Разработанная и предложенная авторами схема резервирования трехфазной рабочей цепи резервной фазой, которая в нормальном режиме работы линии электропередачи присоединяется параллельно к одной из рабочих фаз ВЛ, а в аварийном режиме переключается автоматически взамен поврежденной фазы. Например, при эксплуатации линии электропередачи Куйбышев – Москва, расщепленной на три провода фазы, волновое сопротивление снизилось в 1,5 раза, а натуральная мощность возросла в 1,44 раза. При этом очевидным недостатком резервирования рабочей цепи ВЛ четвертой фазой явились наличие несимметрии и недоиспользование суммарного сечения электропередачи.

На основе выполненного анализа была определена цель исследования — оценка показателей надежности двухцепной ВЛ с дополнительным режимом работы (с расщепленной резервной фазой).

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

- проведение анализа работы воздушной линии электропередачи в режиме с «расщепленной резервной фазой»;
- определение основных параметров линии;
- оценка показателей надежности работы двухцепной воздушной линии электропередачи с дополнительным режимом с «расщепленной резервной фазой» («РПФ»).

тельный) режим работы в период выявления места и причины отказа.

2. Расчет и сравнительный анализ показал увеличение пропускной способности ВЛ с «РРФ» на 35% по сравнению с двухцепной ВЛ в аварийном режиме, что является существенным увеличением и доказывает вероятность применения данного режима, как дополнительного при отсутствии возможности или экономической целесообразности нецелесообразно переоснащения существующей ВЛ.

3. Расчетным путем выявлено, что вероятный относительный недоотпуск электрической энергии в двухцепной ВЛ с дополнительным режимом работы (с «РРФ») ниже на 13% по сравнению с традиционной двухцепной ВЛ, что положительно скажется на маневренности работы всей системы.

### Список использованных источников

1. Барбашов И. В., Виноградов А. А., Федотова Е. К. Электрические сети электроэнергетических систем. Белгород. Изд-во Белгородского ГТУ 2016.
2. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. Москва: Альянс 2009.
3. Копейкина Т. В. Технические аспекты применения компактных управляемых воздушных линий электропередачи. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2015; 12(4): 581–584.
4. Зарудский Г. К., Самалюк Ю. С. О режимных особенностях компактных воздушных линий электропередачи напряжением 220 кВ. Электричество 2013; (5): 8–13.
5. Карева С. Н. Применение в ЕНЭС компактных управляемых воздушных линий электропередачи. Энергия единой сети 2013; 4(9): 60–68.
6. Степанов В. М., Карницкий В. Ю. Компактные линии электропередачи. Тула: Известия Тульского государственного университета 2010; (3–5): 49–51.
7. Horowitz S. H., Phadke A. G., Renz B. A. The Future of Power Transmission. IEEE Power and Energy Magazine 2010; 8(2): 34–40.
8. Во Х. К., Косточкин А. А. Преимущества использования линий электропередачи с резервной фазой. Томск: ВН-ТК Энергетика: эффективность, надежность, безопасность 2013; (1) 385–388.
9. Нестеров А. С., Лебедев М. П., Кобылин В. П., Васильев П. Ф.,

Давыдов Г. И., Хоютанов А. М. Повышение эффективности эксплуатации воздушных линий электропередачи с резервной фазой. Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» 2016; 4: 45–48.

10. Нестеров А. С., Лебедев М. П., Кобылин В. П., Васильев П. Ф. Устройство резервирования линии электропередачи. Патент № 2014151341/07 (РФ). Бюллетень изобретений 2016.

11. Файбисович Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во НЦ ЭНАС 2009.

### References

1. Barbashov I. V., Vinogradov A. A., Fedotova E. K. Electrical networks of electrical power systems. Belgorod: Izd-vo Belgorodskogo GTU 2016. (In Russ.)
2. Idel'chik V. I. Electric systems and networks. Moskva: Al'yans 2009. (In Russ.)
3. Kopeikina T. V. Technical aspects of application of the compact operated electricity transmission air-lines. International journal of applied and fundamental research 2015; 12(4): 581–584. (In Russ.)
4. Zarudskii G. K., Samalyuk Y. S. About regime features of compact air-lines of an electricity transmission of 220 kV. Electricity 2013; (5): 8–13. (In Russ.)
5. Kareva S. N. Application in ENES of the compact operated electricity transmission air-lines. Energiya edinoini seti 2013; 4(9): 60–68. (In Russ.)
6. Stepanov V. M., Karniczkiy V. Yu. Compact power lines. Tula: Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta 2010; (3–5): 49–51.
7. Horowitz S. H., Phadke A. G., Renz B. A. The Future of Power Transmission. IEEE Power and Energy Magazine 2010; 8(2): 34–40. (In Eng.)
8. Vo X. K., Kostochkin A. A. The advantages of using power lines with a backup phase. Tomsk: VN-TK Energetika: effektivnost', nadezhnost', bezopasnost' 2013; (1): 385–388.
9. Nesterov A. S., Lebedev M. P., Kobylin V. P., Vasil'ev P. F., Davydov G. I., Khoютanov A. M. Increase in efficiency of operation of air-lines of an electricity transmission with a reserve phase. South Ural State University bulletin. Series «Power engineering» 2016; (4): 45–48. (In Russ.)
10. Nesterov A. S., Lebedev M. P., Kobylin V. P., Vasil'ev P. F. Device of reservation of a power line The patent 2014151341/07 Russian Federation. Bulletin of inventions 2016. (In Russ.)
11. Faibisovich D. L. Reference book on design of electrical networks. 3-e izd., pererab. i dop. Moskva: Izd-vo NTs ENAS 2009. (In Russ.)



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304>  
УДК 621.316.1:658.588

## Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (на примере Южных электрических сетей города Иркутска)

Наумов И. В.<sup>1\*</sup>, Карпова Е. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет  
664074, ул. Лермонтова 83, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup> Амурский государственный университет  
675027, Игнатьевское шоссе, 21, г. Благовещенск, Россия

Поступила / Received 18.09.2018

Принята к печати / Accepted for publication 20.11.2018

Отключение потребителей электрической энергии от напряжения электрической сети является достаточно частым событием, имеющим широкий спектр последствий. Перерывы в питании могут быть вызваны как случайными событиями, так и плановыми отключениями. Нарушения в системах электроснабжения потребителей ведут к множеству негативных явлений (недоотпуск продукции, массовый брак продукции, выход из строя производственного оборудования), что наносит значительный экономический ущерб. Проведен ретроспективный анализ повреждаемости электрических сетей Правобережного и Левобережного округов г. Иркутска за 2013–2017 гг. При этом использованы данные из диспетчерских журналов наблюдений по событиям отказов, вызванных аварийными повреждениями в Южных электрических сетях. Установлено, что наибольшее количество отключений происходит по таким причинам, как повреждения на подстанциях, повреждения в электрических сетях потребителя, обрыв проводов воздушных и кабельных линий электропередачи, а также повреждения коммутационной аппаратуры. Проанализированы отказы также по причинам, связанными с ветровой нагрузкой, повреждениями на комплектных трансформаторных подстанциях, изоляторах и разрядниках. Представлено процентное соотношение повреждаемости электрических сетей, обусловленных указанными причинами, от общего количества повреждений. Кроме того, выполнен анализ времени перерывов электроснабжения вследствие повреждений отдельных элементов электросетевого оборудования, а также величины недоотпущенной по этим причинам электрической энергии и материальный ущерб от этих отключений, вызванный недоотпуском ЭЭ с учетом средневзвешенных цен на электроэнергию для оптовых потребителей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** отключение потребителей, надежность электроснабжения, время перерыва электроснабжения, недоотпуск электрической энергии

### Адрес для переписки:

Наумов И. В.  
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», Институт Энергетики  
ул. Лермонтова, 83, 664074, г. Иркутск, Россия  
e-mail: [professornaumov@list.ru](mailto:professornaumov@list.ru)

### Address for correspondence:

Naumov I. V.  
Irkutsk national research technical university, Institute of  
Power Engineering  
Lermontov str., 83, 664074, Irkutsk, Russian Federation  
e-mail: [professornaumov@list.ru](mailto:professornaumov@list.ru)

### Для цитирования:

Наумов И. В., Карпова Е. В. Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (на примере Южных электрических сетей города Иркутска). Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. – С. 299–304  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304>

### For citation:

Naumov I. V., Karpova E. V. [Analysis of causes of failures in 10 kV electrical power distribution networks (on the example of the Southern electrical networks of the city of Irkutsk)]. *Na-dezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 299–304 (in Russian)  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304>

## Analysis of causes of failures in 10 kV electrical power distribution networks (on the example of the Southern electrical networks of the city of Irkutsk)

Naumov I. V.<sup>1\*</sup>, Karpova E. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk national research technical university Lermontov str., 83  
664074, Irkutsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Amur state university, 675027  
Ignatyevskoye of highways, 21, Blagoveshchensk, Russia

Disconnection of power consumers from power grids is quite a common event, with a wide range of consequences. Power supply interruptions can be caused by both casual events, and planned shutdowns. Disruptions in systems of power supply of consumers lead to a variety of adverse events (under-delivery of products, large-scale product rejection, failure of production equipment, etc.), which inflicts a significant economic damage. The retrospective analysis of the failure rate of electrical networks of the Right Bank and Left Bank districts of Irkutsk over 2013–2017 has been carried out. The analysis was based on the data from dispatching logs of observations on events of failures caused by emergency damage to the Southern electrical networks. It is established that the greatest number of failures occurs for such reasons as damage at substations, damage to consumer electrical networks, wire breakage in air and cable power lines as well as damage of switching equipment. Failures related to wind load, damage at packaged transformer substations, insulators and surge arresters are also analysed. The percentage rate of failures of electrical power networks caused by specific reasons from the total number of failures is presented. Besides, the analysis is performed of the duration of interruptions of power supply owing to damage of individual elements of power network equipment as well as the amount of electric energy undelivered for these reasons, and financial losses caused by these failures due to under-delivery of electric energy, with the average wholesale electricity prices taken into account.

KEYWORDS: disconnection of consumers; reliability of power supply; power supply interruption time; under-delivery of electric energy

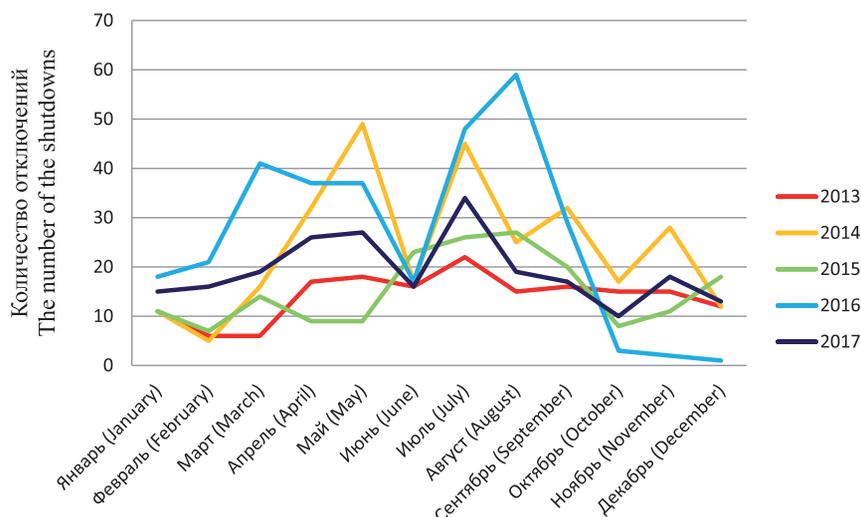
Надежность электроснабжения потребителей является одним из главных условий эффективной работы предприятий. Поэтому мероприятия, связанные с получением детальной информации об основных причинах повреждений, ее анализ и составление на его основе определенных рекомендаций является важным аспектом в повышении уровня надежности электроснабжения потребителей в электрических сетях, системах электроснабжения и, соответственно, в электроэнергетических системах. По оценкам экспертов ущерб от плановых и внеплановых перерывов в поставках электроэнергии в развитых странах в несколько раз превосходит ущерб от стихийных катастроф [1]. Перерывы электроснабжения могут быть вызваны как случайными воздействиями, имеющими внутренний и внешний источники, так и плановыми отключениями, причем при аварийном отключении ущерб существенно выше, чем при плановом. Рассмотрены только аварийные отключения потребителей, так как о времени и длительности планируемых перерывов потребитель извещается электроснабжающей компанией и имеет возможность подготовиться к отключению, тем самым снизив ущерб от перерывов электроснабжения [2, 3].

Целью исследования является анализ перерывов электроснабжения в электрических сетях г. Иркутска и классификация основных причин этих перерывов.

Наиболее повреждаемыми структурами систем электроснабжения являются электрические сети напряжением 6–10 кВ в силу их большой протяженности и

разветвленности. В особенности это касается сельских распределительных электрических сетей указанного класса напряжения. Эти сети часто называют электрическими сетями с низким уровнем наблюдаемости, что в достаточной мере снижает быстродействие и локализацию поврежденных участков при устойчивых аварийных отключениях [4, 5]. Анализ показателей аварийности электрических сетей позволяет выявить ряд особенностей и закономерностей, связанных с условиями их эксплуатации [6]. Большую практическую и научную значимость имеют ежегодные статистические отчеты энергетических компаний, осуществляющих эксплуатацию электрических сетей с разными уровнями напряжения. Воздушные ЛЭП 10 кВ, расположенные в сельской местности, подвержены влиянию множества внешних факторов (природно-климатические, антропогенные и т. д.), снижающих надежность воздушных линий (ВЛ) и приводящих к их отказам и, как следствие, к соответствующему недоотпуску электрической энергии потребителям [5, 7].

В ходе выполнения данной работы проанализированы диспетчерские журналы отключений за 2013–2017, данные о количестве произведенных аварийных отключений сведены в таблицах 1 и 2. На основе произведенного анализа (рисунки 1 и 2) установлено, что наибольшее число перерывов электроснабжения приходится на весенне-летний период (14,1% — май, 10,2% — июнь, 12,9% — июль от общего числа отключений за 2017 г. для Правобережного округа, 13,7% —



**Рисунок 5.** Количество отключений, связанных с повреждениями в сетях потребителя  
**Figure 5.** The number of disconnections related to damage in consumer networks

**Таблица 3.** Сводная таблица отключений за 2013–2017 гг  
**Table 3.** Summary table of disconnections of consumers in 2013–2017

Год (Year)	Количество отключений (Number of shutdowns)	Длительность перерывов электроснабжения, ч (Duration of power supply interruptions, h)	Недоотпуск электроэнергии, кВт·ч (Under-supply of electricity, kWh)	Тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч (The electricity tariff, RUR/kWh)	Ущерб от произведенных отключений, млн руб (Damage from shutdowns, million rubles)
2013	1524	4756,08	3132475	0,663	2,077
2014	1770	6100,87	5167943	0,694	3,586
2015	1819	5564,94	2562083	0,995	2,549
2016	1833	3084,98	3251052	0,999	3,248
2017	1884	8132,49	5999827	1,004	6,024

170, 289, 182, 313 и 228 отключений за 2013–2017 гг. соответственно. Из графика, изображенного на рисунке 5, видно, что наибольшее число отключений, связанных с этой причиной, было произведено в мае, июле и августе.

Следует отметить, что за рассмотренный период, по причинам, связанными с неправомерной работой персонала и гибелью животных, было произведено лишь 70 отключений (12 отключений или 0,79% от общего числа отключений в 2013 г., 13 или 0,73%, 20 или 1,09%, 6 или 0,33% и 19 или 1,01% в 2014–2017 гг. соответственно) общей длительностью 202 часа и 29 минут, которые привели к недоотпуску 150874 кВт·ч электроэнергии. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне профессионализма работников электрических сетей Правобережного и Левобережного округа Иркутска.

## Выводы

В результате проведенного анализа было определено общее число отключений потребителей Правобережного и Левобережного округа Иркутска за 2013–2017 гг., общая продолжительность перерывов электроснабжения и недоотпуск электроэнергии. В таблице 3 приведены указанные данные, а также ущерб

от произведенных отключений с учетом тарифа на электроэнергию для оптовых потребителей за соответствующий год.

Сравнительный анализ причин отключений показал, что наименее надежными элементами электрических сетей являются линии электропередачи, комплектные трансформаторные подстанции, изоляторы и коммутационная аппаратура, что говорит о существенном износе электрооборудования и необходимости реконструкции электрических сетей.

## Список использованных источников

1. Вдовин И. В. Установление договорных тарифов на электроэнергию. Вестник Омского университета 2014; (4): 132–138.
2. Гулидов С. С. Организационно-экономические основы формирования электроэнергетической службы на сельскохозяйственных предприятиях: диссертация кандидата экономических наук. Моск. гос. агроинженер. ун-т им. В. П. Горячкина Москва 2013.
3. Карпов В. В., Вдовин И. В. Оценка экономических ущербов коммерческих потребителей с учетом надежности электроснабжения. Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии 2014; (4): 128–135.
4. Карамов Д. Н., Наумов И. В., Пержабинский С. М. Математическое моделирование отказов элементов электрической сети 10 кВ

автономных энергетических систем с возобновляемой распределенной генерацией. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов 2018; (7): 116–130.

5. Захаренко С. Г. Анализ аварийности в электросетевом комплексе. Вестник Кузбасского государственного технического университета 2016; (4): 95–98.

6. Olusuyi K., Oluwol A. S., Adefarati T., Babarinde A. K. A fault analysis of 11 kV distribution system (a case study of ado Ekiti electrical power distributional district. Applied Energy 2017; (185): 158–171.

7. Черкасова Н. И. Методика многокритериальной оценки эффективности функционирования сельских электрических сетей 10–0,4 кВ. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока 2013; (2): 248–253.

8. Шаулева Н. М., Захарова А. Г., Стариченко Д. К. Влияние погодных-климатических факторов на эксплуатационную надежность распределительных сетей угольных разрезов. Вестник Кузбасского государственного технического университета 2010; (1): 114–116.

9. Орлов П. С. Инженерно-технические мероприятия по повышению надежности электроснабжения объектов строительства. Записки Горного института 2016; (222): 845–851.

10. Виноградов А. В., Пеньков Р. А. Анализ повреждаемости электрооборудования электрических сетей и обоснование мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей. Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института 2015; (12): 12–21.

## References

1. Vdovin I. V., Establishment of contractual tariffs for electricity. Bulletin of Omsk University 2014; (4): 132–138 (In Russ.).

2. Gulidov S. S. Organizational and economic bases of formation of

electric power service at agricultural enterprises: thesis of candidate of economic Sciences. Mosk. state agricultural engineer. UN-t im. V. P. Goryachkina, Moscow 2013 (In Russ.).

3. Karpov V. V., Vdovin, V. I. assessment of the economic damages to commercial consumers, taking into account the reliability of power supply. Bulletin of the Siberian state automobile and road Academy 2014; (4): 128–135 (In Russ.).

4. Karamov D. N., Naumov I. V., Barabinskiy S. M. Mathematical modelling of failures of elements of electric networks 10 kV of Autonomous power systems with renewable distributed generation. News of Tomsk Polytechnic University. Engineering of geo-resources 2018; (7): 116–130 (In Russ.).

5. Zakharenko S. G. accident Analysis in the power grid complex. Bulletin of Kuzbass state technical University 2016; (4): 95–98.

6. Olusuyi K., Oluwol A. S., T. Adefarati, Babarinde A. K. A fault analysis of 11 kV distribution system (a case study of ado Ekiti electrical power distributional district. Applied Energy 2017; (185): 158–171.

7. Cherkasova N. And. The method of multi-criteria evaluation of the efficiency of rural electrical networks 10–0, 4 kV. Scientific problems of transport in Siberia and the Far East 2013; (2): 248–253 (In Russ.).

8. Shouleva N. M. Zakharov A. G., Starichenko D. K. the Effect of climatic factors on reliability of distribution networks coal mines. Bulletin of Kuzbass state technical University 2010; (1): 114–116 (In Russ.).

9. Orlov P. C. Engineering-technical actions for increase of reliability of power supply of objects of construction. Proceedings of the Mining Institute 2016; (222): 845–851 (In Russ.).

10. Vinogradov A. V., Perkov R., Analysis of electrical equipment damage and justification of measures to improve the reliability of electrical power supply to consumers. Bulletin of Nizhny Novgorod state Institute of engineering and Economics 2015; (12): 12–21 (In Russ.).



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-305-310>

УДК 614.83: 614.84: 621.039: 62-622: 629.039.58

# Методика оценки годового риска от поломок, пожаров и взрывов на основе графов состояний в электролизных цехах

Аминов Р. З.<sup>1,2</sup>, Бурденкова Е. Ю.<sup>1,2</sup>, Портянкин А.В.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Саратовский научный центр Российской Академии наук  
ул. Политехническая, 77, 410054, г. Саратов, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»  
ул. Политехническая, 77, 410054, г. Саратов, Россия

Поступила / Received 10.07.2018

Принята к печати / Accepted for publication 14.12.2018

Представлена методика оценки возможного годового риска, который может понести водородная надстройка на атомной электрической станции (АЭС) при производстве взрывопожароопасного водорода. При соблюдении правил безопасности по условиям получения, хранения, транспортировки и использования водорода можно минимизировать случаи взрывопожароопасных ситуаций на водородной надстройке. Плановые и капитальные ремонты с проведением всех диагностик аналогичным образом снижают аварийные ситуации и отказы оборудования. Однако существует вероятность нахождения оборудования в том или ином состоянии (поломка, пожар и взрыв), произошедшие в результате утечек водорода. Разгерметизация оборудования с утечкой взрывоопасного водорода в закрытых помещениях с наложением неблагоприятных сопутствующих факторов может привести к разрушению электролизного цеха в результате пожара и взрыва. С помощью графа состояний оценены вероятности выхода из строя электролизного оборудования по причинам внеплановых поломок и возможных пожаров или взрывов в закрытых помещениях из-за разгерметизации оборудования. Для этого рассмотрены возможные сценарии поломок электролизера в одном и двух цехах. В расчетах графа состояний составлялась система линейных уравнений для установившихся значений. Расчеты показали, что при компоновке с двумя электролизными цехами растет возможный годовой риск. Минимизировать годовой риск можно за счет форсирования мощности оставшийся в работе электролизной установки путем повышения ее производительности по водороду и кислороду. Эффект будет достигаться только в том случае, если себестоимость электроэнергии от АЭС не будет превышать 0,81 руб/кВт·ч при пиковом тарифе на электроэнергию 3,5 руб/кВт·ч.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: атомная электростанция, отказ, поломка, взрыв, пожар, риск

### Благодарности

Статья подготовлена при поддержке РФФИ, грант № 15-19-10027.

### Адрес для переписки:

Портянкин А. В.  
ФГБОУ ВО СГТУ имени Гагарина Ю. А., кафедра ТАЭ  
ул. Политехническая, 77, 410054, г. Саратов, Россия  
e-mail: portyankinav1982@rambler.ru

### Address for correspondence:

Portyankin A. V.  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Department TAE  
Polytechnic Str., 77, 410054, Saratov, Russia  
e-mail: portyankinav1982@rambler.ru

### Для цитирования:

Аминов Р. З., Бурденкова Е. Ю., Портянкин А. В. Методика оценки годового риска от поломок, пожаров и взрывов на основе графов состояний в электролизных цехах. *Надежность и безопасность энергетики*. 2018. – Т. 11, №4. – С. 305–310  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-305-310>

### For citation:

Aminov R. Z., Burdenkova E. Yu., Portyankin A. V. [Method of estimation of annual risk from breaks, fires and explosions on the basis of state graphs in electrolysis plants]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 305–310 (in Russian).  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-305-310>

## Method of estimation of annual risk from breaks, fires and explosions on the basis of state graphs in electrolysis plants

Aminov R. Z.<sup>1,2</sup>, Burdenkova E. Yu.<sup>1,2</sup>, Portyankin A. V.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences  
Polytechnic Str., 77, 410054, Saratov, Russia

<sup>2</sup> Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
Polytechnic Str., 77, 410054, Saratov, Russia

A method is presented for estimating the possible annual risk that a hydrogen superstructure at a nuclear power plant (NPP) may have in the production of explosive hydrogen. With the observance of safety rules in terms of receiving, storing, transporting and using hydrogen, it is possible to minimize the occurrence of fire and explosion hazard situations on the hydrogen superstructure. Scheduled repair and overhauls with all diagnostics reduce emergencies and equipment failures in the same way. However, there is a likelihood for the equipment to be found in an abnormal state (breakdown, fire and explosion) as a result of hydrogen leaks. Depressurization of equipment with leakage of explosive hydrogen in enclosed spaces concurrently with adverse attendant factors may lead to the destruction of the electrolysis plant due to fire and explosion. With the help of the state graph, the probabilities of a failure of electrolysis equipment because of unplanned breakdowns and possible fires or explosions indoors due to depressurization of equipment are estimated. To this effect, possible scenarios of breakdowns of the electrolyzer in one and two workshops are considered. In the calculations of the state graph, a system of linear equations was composed for steady-state values only. The calculations have shown that for a configuration involving two electrolysis plants, the possible annual risk would increase. Minimizing the annual risk can be achieved through boosting the capacity of the electrolysis plant still in operation by increasing its productivity in hydrogen and oxygen. The effect will only be achieved if the cost of electricity from nuclear power plants is kept within 0.81 rubles/(kW·h) with a peak electricity tariff at 3.5 rubles/(kW·h).

KEYWORDS: nuclear power plant, failure, breakdown, explosion, fire, risk

### Acknowledgments

The article was prepared with the support of the Russian Science Foundation, grant No. 15-19-10027.

Одной из возможных причин отказа строительства водородных надстроек на территории атомной электрической станции (АЭС) является производство на ней взрывопожароопасного водорода, который воспламеняется и детонирует в смеси с окислителем. При соблюдении правил безопасности [1] по условиям получения, хранения, транспортировки и использования водорода можно минимизировать случаи взрывопожароопасных ситуаций на водородной надстройке. Плановые и капитальные ремонты с проведением всех диагностик аналогичным образом снижают аварийные ситуации и отказы оборудования. Однако существует вероятность нахождения оборудования в том или ином состоянии (поломка, пожар и взрыв), произошедшие в результате утечек водорода [2–7].

Оценим возможный годовой риск на примере электролизных цехов, который может понести водородная надстройка на АЭС. Компоновка электролизного цеха с одной электролизной установкой большой единичной мощности снижает удельные капиталовложения в ее сооружение. В случае поломки электролизного оборудования водородная надстройка будет неработоспособна в период восстановительных ремонтных работ.

Отказ оборудования может возникнуть по следующим причинам:

1. Поломка электролизного оборудования, включающая в себя в том числе отказ в запуске на выработку кислорода и водорода и разгерметизацию с выходом

взрывоопасного водорода;

2. Пожар в электролизном цехе;

3. Взрыв в электролизном цехе.

Поломки, пожары и взрывы повышают годовые затраты на проведение внеплановых и восстановительных ремонтов, в том числе снижают годовую выработку электроэнергии паротурбинной установкой водородной надстройки.

Для оценки годового риска достаточно знать вероятность события отказа. В связи с тем, что затраты на внеплановый ремонт по причине поломок электролизного оборудования и затраты на восстановительные работы после пожара и взрыва весьма различны, необходимо знать вероятность каждого события в отдельности.

Произведем расчет вероятностей данных событий с помощью графов состояний, представленных на рисунке 1.

При параллельной работе двух электролизных цехов возможны следующие сценарии развития событий по прекращению выработки водорода и кислорода:

1. Выход из строя одного из двух цехов и далее поломка оборудования во втором цехе — «поломка-поломка»;

2. Выход из строя одного из двух цехов и далее пожар во втором цехе — «поломка-пожар»;

3. Выход из строя одного из двух цехов и далее взрыв во втором цехе — «поломка-взрыв»;

4. Пожар в одном из двух цехов и далее поломка обо-

себестоимость электроэнергии от АЭС будет меньше 0,81 руб/кВт·ч при пиковом тарифе на электроэнергию 3,5 руб/кВт·ч.

## Вывод

Разработана методика оценки возможного годового риска, который может понести водородная надстройка на АЭС при производстве взрывопожароопасного водорода. С помощью графа состояний оценены вероятности выхода из строя электролизного оборудования по причинам внеплановых поломок и возможных пожаров или взрывов в закрытых помещениях из-за разгерметизации оборудования. Расчеты показали, что при компоновке с двумя электролизными цехами расчет возможный годовой риск из-за увеличения годовых ремонтных отчислений. Минимизировать годовой риск можно за счет форсирования мощности оставшейся в работе электролизной установки путем повышения ее производительности по водороду и кислороду. Эффект будет достигаться только в том случае, если себестоимость электроэнергии от АЭС будет меньше 0,81 руб/кВт·ч при пиковом тарифе на электроэнергию 3,5 руб/кВт·ч.

## Список использованных источников

1. Правила безопасности при производстве водорода методом электролиза воды. ПБ 03-598-03. Утв. Ростехнадзором России 06.06.03 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://himenergo.ru/usr/file/PB%2003-598-03.pdf> (дата обращения: 28.06.2018).
2. Кириллов И. А., Харитонов Н. Л., Шарафутдинов Р. Б., Хренников Н. Н. Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторами установками. Современное состояние проблемы. Ядерная и радиационная безопасность 2017; 2(84): 26–37.
3. Кузнецов В. М., Острецов И. Н., Хвостова М. С., Шингаркин М. А. Современное состояние безопасности атомных электростанций, перспективы развития атомной энергетики и концептуальные вопросы стратегии развития экологически чистой ядерной энергетики. Безопасность в техносфере 2014; 3(3): 60–73.
4. Комаров Ю. А. Возможности риск-ориентированного подхода к проблеме повышения надежности и безопасности АЭС. Теплоэнергетика 2014; (10): 12–16.
5. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Ищенко А. Д., Фогилев И. С. Временной механизм воздействия опасных факторов пожара на персонал АЭС и комплексная защита от них. Пожаровзрывобезопасность 2017; 26(8): 15–24.
6. Адаменков А. К., Сальников А. А., Веселова И. Н., Рясный С. И. Управление риском технологических нарушений АЭС. Атомная энергия 2017; 123(3): 123–127.
7. Елисеева М. А., Никишин В. В. Прикладные задачи моделирования технических рисков АЭС. Известия ЮФУ. Технические науки 2015; 3(164): 117–126.
8. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. Москва. 2006. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293830/4293830270.pdf> (дата обращения: 28.06.2018).

9. Байрамов А. Н., Киричков В. С. Обоснование компоновочных решений комбинирования АЭС с водородным энергетическим комплексом по критерию минимального роска. Труды Академэнерго 2018; (1): 57–72.

10. Аминов Р. З., Хрусталева В. А., Портянкин А. В. Взрывопожароопасность на АЭС с водородными надстройками. Анализ проблемы и пути решения. Труды Академэнерго 2013; (3): 41–51.

11. Aminov R. Z., Khrustalev V. A., Portyankin A. V. The effectiveness of power generating complexes constructed on the basis of nuclear power plants combined with additional sources of energy determined taking risk factors into account. Thermal Engineering 2015; 62(2): 130–137.

## References

1. Safety rules for the production of hydrogen by electrolysis of water: safety regulations 03-598-03: approved. Gostehnadzor of Russia 06.06.03 [the Electronic resource]. Systems. Requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://himenergo.ru/usr/file/PB%2003-598-03.pdf> (date of circulation: June 28, 2018). (In Russ.)
2. Kirillov I. A., Kharitonov N. L., Sharafutdinov R. B., Khrennikov N. N. Ensuring hydrogen safety at nuclear power plants with water-cooled reactors installations. The current state of the problem. Nuclear and radiation safety 2017; 2(84): 26–37. (In Russ.)
3. Kuznetsov V. M., Ostretsov I. N., Khvostova M. S., Shingarkin M. A. The current state of safety of nuclear power plants, the prospects for the development of nuclear energy and conceptual issues of the development strategy for environmentally friendly nuclear energy. Safety in the technosphere 2014; 3(3): 60–73. (In Russ.)
4. Komarov Yu. A. Possibilities of a risk-based approach to the problem of improving the reliability and safety of nuclear power plants. Thermal power 2014; (10): 12–16. (In Russ.)
5. Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Ischenko A. D., Fogilev I. S. The temporary mechanism of the impact of fire hazards on NPP personnel and comprehensive protection from them. Fire and explosion safety 2017; 26 (8): 15–24. (In Russ.)
6. Adamenkov A. K., Salnikov A. A., Veselova I. N., Rysny S. I. Risk management of technological violations of nuclear power plants. Atomic Energy 2017; 123 (3): 123–127. (In Russ.)
7. Eliseeva M. A., Nikishin V. V. Applied problems of modeling technical risks of nuclear power plants. News SFU. Technical science 2015; 3 (164): 117–126. (In Russ.)
8. Guidelines for the assessment of fire risk for industrial enterprises. Moscow. 2006. [Electronic resource]. Systems. Requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293830/4293830270.pdf> (date of circulation: June 28, 2018). (In Russ.)
9. Bayramov A. N., Kirichkov V. S. Substantiation of layout decisions for combining NPPs with a hydrogen energy complex by the criterion of minimum dew. Works of Academenergo 2018; (1): 57–72.
10. Aminov R. Z., Khrustalev V. A., Portyankin A. V. Explosion-risk in nuclear power plants with hydrogen superstructures. Analysis of the problem and solutions. // Proceedings of Akademenergo 2013; (3): 41–51. (In Russ.)
11. Aminov R. Z., Khrustalev V. A., Portyankin A. V. The effectiveness of power generating complexes constructed on the basis of nuclear power plants combined with additional sources of energy determined taking risk factors into account. Thermal Engineering 2015; 62(2): 130–137. (In Eng.)

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-311-318>  
УДК 621.671.22

## К вопросу об оптимизации проточной части рабочих колёс центробежных насосов

**Волков А. В., Парыгин А. Г., Вихлянцев А. А.\*, Дружинин А. А.**

ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"

ул. Красноказарменная, 14, 111250, г. Москва, Россия

Поступила / Received 01.11.2018

Принята к печати / Accepted for publication 11.12.2018

Классическим решением для ГАЭС является использование обратимых гидромашин, работающих как в насосном, так и в турбинном режиме. При этом, например, спроектированная на насосный режим лопастная система гидроагрегата имеет высокий КПД. Однако в турбинном режиме такой агрегат обладает энергетическими характеристиками, далёкими от оптимальных. Рассматривая различные варианты микро- и миниГАЭС (до 100 кВт), имеющих модульную конструкцию, наиболее целесообразным является использование насоса и турбины раздельно, так как при таких малых мощностях КПД гидроагрегата имеет большое значение.

На сегодняшний день подходы к проектированию гидротурбин достаточно развиты и позволяют достигнуть высоких энергетических показателей [1, 2]. Согласно данным различных источников уровень КПД для осевой турбины мощностью менее 100 кВт составляет 80÷91%.

В то же время для центробежных насосов, особенно малой быстроходности, проблема повышения энергоэффективности весьма актуальна. Так, для насосов с коэффициентом быстроходности  $n_s < 80$  уровень КПД обычно составляет от 40 до 65%.

Целью исследования являлось развитие методов синтеза и оптимизации проточной части центробежных насосов с использованием подходов теории оптимального управления и повышения энергетических показателей гидроагрегатов. Рассмотрены различные варианты локальной коррекции геометрии проточной части. В качестве альтернативы эмпирическим подходам детально рассмотрены способы, базирующиеся на управлении законом распределения циркуляции. Проанализированы различные математические зависимости циркуляции потока от координаты точки, лежащей на поверхности лопасти. Рассмотрены возможности применения теории планирования эксперимента применительно к решаемым задачам.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** миниГАЭС, центробежный насос, теория оптимального управления, проточная часть, рабочее колесо, оптимизация

### Благодарности

Результаты получены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по заданию № 13.11841.2018/11.12 от 02.03.2018 г., вступившем в силу в соответствии с распоряжением Министерства образования и науки РФ №Р-67 от 07.02.2018 г.

### Адрес для переписки:

Вихлянцев А. А.  
ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ", НЦ "Износостойкость"  
ул. Красноказарменная, 14, 111250, г. Москва, Россия  
e-mail: alexgidro91@mail.ru

### Address for correspondence:

Vikhlyantsev A. A.  
National Research University "MPEI", RC "Iznosostoykost"  
str. Krasnokazarmennaya, 14, 111250, Moscow, Russia  
e-mail: alexgidro91@mail.ru

### Для цитирования:

Волков А. В., Парыгин А. Г., Вихлянцев А. А., Дружинин А. А. К вопросу об оптимизации проточной части рабочих колёс центробежных насосов. Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. – С. 311–318  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-311-318>

### For citation:

Volkov A. V., Parygin A. G., Vikhlyantsev A. A., Druzhinin A. A. [On optimization of flow passages of impellers of centrifugal pumps]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 311–318 (in Russian),  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-311-318>

## On optimization of flow passages of impellers of centrifugal pumps

Volkov A. V., Parygin A. G., Vikhlyantsev A. A. \*, Druzhinin A. A.

National Research University "MPEI"

str. Krasnokazarmennaya, 14, 111250, Moscow, Russia

The conventional solution for HAPPs is the use of reversible hydraulic machines operating both in the pump mode as well as in the turbine mode. At the same time, for example, a blade system of a hydraulic machine designed for the pumping mode has a high efficiency. However, in the turbine mode, the energy characteristics of such machine are far from optimal. Considering different patterns of micro- and mini-HAPPs (up to 100 kW) of modular design, it is most appropriate to use a pump and a turbine separately, since the efficiency of hydraulic machines is very important in the case of such low power.

To date, approaches to the design of hydraulic turbines are quite developed and allow to achieve high energy performance [1, 2]. According to different data sources the level of axial turbine efficiency with power less than 100 kW is about 80÷91%.

At the same time, for centrifugal pumps, especially those of low specific speed, the problem of increasing energy efficiency is very urgent. E.g., for pumps with a specific speed  $n_s < 80$  the efficiency level is usually 40 to 65%.

The aim of the presented research is the development of methods of synthesis and optimization of the flow passages of centrifugal pumps using the approaches of the theory of optimal control and increasing energy performance of hydraulic machines. Various ways of local correction of geometry of flow passages are presented in the paper. As an alternative to empirical approaches, methods based on the control of the circulation distribution are considered in detail. Various mathematical dependences of the flow circulation on the coordinate of the point lying on the surface of the blade are analyzed. Possibilities of application of the theory of experiment planning in relation to the problems to be solved are considered.

KEYWORDS: mini-HAPP, centrifugal pump, theory of optimal control, flow passage, impeller, optimization

### Acknowledgments

The results were obtained with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under Assignment No. 13.11841.2018 / 11.12 dated 02.03.2018, enacted in accordance with order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation №P-67 dated 07.02.2018.

В настоящее время существуют различные решения, направленные на снижение износа и выравнивание графиков нагрузки основного оборудования энергосистем посредством введения в пиковых режимах дополнительных генерирующих мощностей. Одним из перспективных направлений в этой области стало создание модульных миниГАЭС. Такое решение является довольно универсальным: наращивание мощности может осуществляться в широком диапазоне за счёт подключения дополнительных типовых модулей мощностью менее 100 кВт.

Одним из схемных решений такого модуля миниГАЭС является энергоустановка на базе водонапорных башен, в т. ч. и выведенных из эксплуатации. Такая схема апробирована в Чешской республике (рисунок 1а).

Другое схемное решение потенциально перспективно для РФ, где на обширной территории существуют законсервированные, затопленные и выработавшие свой ресурс шахты. Предварительно выполненные расчётно-теоретические исследования показывают, что использование объёмов данных шахт в роли нижнего бьефа эффективно для возведения миниГАЭС (рисунок 1б). Роль верхнего бьефа при этом выполняет резервуар, серия баков или цистерн, соединённых с напорным водоводом, а для перекачивания жидкости используется один или несколько гидроагрегатов: на-

сос и турбина или обратимая гидромашин (рисунок 1). Важно отметить, что такие решения имеют особо важное значение для энергетики РФ, поскольку в настоящий момент на её территории возведены по классической схеме только три крупных ГАЭС (Загорская, Зеленчукская, Кубанская). В связи с этим существует нехватка манёвренных мощностей, которые позволили бы существенно повысить эффективность работы существующих энергосетей.

Значительной проблемой разработки модульных миниГАЭС является обеспечение требуемых кавитационных и энергетических качеств гидромашин. Как показывают предварительные расчёты, схемные решения модульных миниГАЭС с отдельным применением турбинного и насосного гидроагрегатов являются более перспективными при условии существенной доработки насосных гидроагрегатов. Особенно это целесообразно при использовании маломощных насосов малой быстроходности, имеющих низкие энергетические показатели.

На сегодняшний день одним из основных трендов в области насосостроения является разработка специализированных систем автоматического проектирования (САПР) для проектирования энергоэффективной и конкурентоспособной продукции [3÷5]. Одно из ответвлений этого направления — создание отдельных

личных вариантов постановки задачи оптимизации отмечено, что количество факторов варьируется в зависимости от быстроходности насосов. Так, на энергетические качества насосов средней ( $n_s = 80 \dots 140$ ) и высокой быстроходности ( $n_s = 140 \dots 300$ ) в значительной степени оказывает влияние не только закон распределения циркуляции по размаху лопасти, но и по ширине рабочего колеса. Как следствие, количество факторов для данного типа насосов возрастает в несколько раз (от 2 для насосов с  $n_s < 80$  до 4 и более для насосов с  $n_s = 80 \dots 300$ ), что в свою очередь приводит к необходимости проведения дробно-факторного эксперимента.

5. В качестве примера рассмотрены некоторые варианты возможной экспертной оценки для отбраковки неудовлетворительных решений, сокращения плана эксперимента и снижения ресурсозатрат.

### Список использованных источников

1. Kaczmarczyk T. Z., Żywica G., Ilnatowicz E. The impact of changes in the geometry of a radial microturbine stage on the efficiency of the micro CHP plant based on ORC. *Energy* 2017; (137): 530–543.
2. Parygin A. G., Volkov A. V., Ryzhenkov A. V., Naumov A. V. and Druzhinin A. A. Optimization Algorithm of Parameters of Low Head Microhydropower Plant at an Early Design Stage. *International Journal of Applied Engineering Research* 2016; 22(11): 10878–10886.
3. Чабурко П. С., Ломакин В. О., Кулешова М. С., Баулин М. Н. Комплексная оптимизация проточной части герметичного насоса методом ЛП-Тау поиска. *Насосы. Турбины. Системы* 2016; (1): 55–61.
4. Трошин Г. А., Петров А. И. Методы модификации проточной части нефтяных магистральных насосов типа НМ. *Инженерный вестник* 2014; (11): 87–92.
5. Checucci M., Schneider A., Marconcini M., Rubechini F., Arnone A., De Franco L., Coneri M. A novel approach to parametric design of centrifugal pumps for a wide range of specific speeds. In *Proceedings of the 12th International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows* 2015.
6. Gergel V., Grishagin V., Gergel A. Adaptive nested optimization scheme for multidimensional global search. *Journal of Global Optimization* 2016; 66(1): 35–51.
7. Захарова Е. М., Минашина И. К. Обзор методов многомерной оптимизации. *Информационные процессы* 2014; 3(11): 256–274.
8. Glad T., Ljung L. *Control theory*. CRC press 2014.
9. Volkov A. V., Parygin A. G., Naumov A. V., Vikhlyantsev A. A., Druzhinin A. A., Grigoriev S. V. Application of optimal control theory

methods for the development of highly efficient centrifugal pumps. *International Journal of Applied Engineering Research* 2017; 19(12): 8768–8778.

10. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных 2018.

11. Локалов Г. А., Марковский В. М. Осевые и центробежные насосы тепловых электрических станций 2016.

12. Турк В. И. Насосы и насосные станции 2014.

### References

1. Kaczmarczyk T. Z., Żywica G., Ilnatowicz E. The impact of changes in the geometry of a radial microturbine stage on the efficiency of the micro CHP plant based on ORC. *Energy* 2017; (137): 530–543. (In Eng.)
2. Parygin A. G., Volkov A. V., Ryzhenkov A. V., Naumov A. V. and Druzhinin A. A. Optimization Algorithm of Parameters of Low Head Microhydropower Plant at an Early Design Stage. *International Journal of Applied Engineering Research* 2016; 22(11): 10878–10886. (in Russ.)
3. Caborca P. C., Lomakin V. O., Kuleshova M. S., Baulin M. N. Optimisation of the flow part of the pump is sealed by a method of LP-Tau search. *Pumps. Turbines. Systems* 2016; (1): 55–61. (In Eng.)
4. Troshin G. A., Petrov A. I. Methods of modification of the flow part of NM type oil pumps 2014; (11): 87–92. (in Russ.)
5. Checucci M., Schneider A., Marconcini M., Rubechini F., Arnone A., De Franco L., Coneri M. A novel approach to parametric design of centrifugal pumps for a wide range of specific speeds. In *Proceedings of the 12th International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows* 2015. (In Eng.)
6. Gergel V., Grishagin V., Gergel A. Adaptive nested optimization scheme for multidimensional global search. *Journal of Global Optimization* 2016; 66(1): 35–51. (In Eng.)
7. Zakharova E. M., Minashina I. K. Review of multidimensional optimization methods. *Information processes* 2014; 3(14): 256–274. (in Russ.)
8. Glad T. and Ljung L. *Control theory*. CRC press 2014. (In Eng.)
9. Volkov A. V., Parygin A. G., Naumov A. V., Vikhlyantsev A. A., Druzhinin A. A., Grigoriev S. V. Application of optimal control theory methods for the development of highly efficient centrifugal pumps. *International Journal of Applied Engineering Research* 2017; 19(12): 8768–8778. (in Russ.)
10. Sidnyaev N. I. theory of experiment planning and analysis of statistical data 2018. (in Russ.)
11. Locallov G. A., Markovskiy V. M. Axial and centrifugal pumps of thermal power plants. 2016. (in Russ.)
12. Turk V. I. Pumps and pumping stations 2014. (in Russ.)



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-319-324>  
УДК 621.1.65

## Стендовая система охлаждения циклового воздуха для микро-ГТУ

**Катенев Г. М.\***, Тумановский В. А., Степанова Т. А.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
ул. Красноказарменная, 14, 111250, г. Москва, Россия

Поступила / Received 02.10.2018

Принята к печати / Accepted for publication 14.12.2018

Рассматривается стендовая система охлаждения циклового воздуха Combustion Turbine Inlet Cooling (СТИС), поступающего в микрогазотурбинную установку (микро-ГТУ), что позволяет сохранять вырабатываемую установкой электрическую мощность на проектном уровне в период сезонного повышения температуры воздуха. Охлаждение воздуха на входе в турбокомпрессор установки происходит до значения его расчетной температуры (по стандарту ISO равной 15°C). Основу макета СТИС составляет промышленная система охлаждения на базе паровой компрессионной холодильной установки с аккумулятором холода. В качестве тела-накопителя холода в аккумуляторе использован водяной лед, в качестве охлаждающей цикловой воздух среды — ледяная вода (вода при температуре 0,5°C – 1°C). Эффект охлаждения циклового воздуха достигается пропуском ледяной воды, поступающей из аккумулятора холода через воздухо-водяной теплообменник, установленный на входе в турбокомпрессор микро-ГТУ. Цель исследования заключалась в определении ресурса работы аккумулятора холода в зависимости от скорости циркулирующей воды. Эксперименты проводились на стендовом макете системы охлаждения с аккумулятором холода, имеющим запас водяного льда 200 кг при работе с микро-ГТУ «С-30» фирмы Capstone. Поддержание температуры циклового воздуха на расчетном уровне достигается с помощью регулируемого по частоте циркуляционного насоса и цифровой измерительно-регулирующей системы с программным пакетом LabVIEW. Результаты исследования показали, что рассмотренная макетная система СТИС в режиме разрядки аккумулятора способна поддерживать необходимую расчетную температуру циклового воздуха 15°C в течение 6 часов, что вполне достаточно для покрытия пиковой нагрузки рабочего дня. Оценены технико-экономические показатели установки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система охлаждения циклового воздуха СТИС, микро-ГТУ, компрессионная холодильная установка, аккумулятор холода, ледяная вода, частотно-регулируемый циркуляционный насос, цифровая измерительная система, программный пакет LabVIEW, виртуальный прибор (ВП)

### Адрес для переписки:

Катенев Г. М.  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», кафедра ПТС  
ул. Красноказарменная, 14, 111250, г. Москва, Россия  
e-mail: KatenevGM@mpei.ru

### Для цитирования:

Катенев Г. М., Тумановский В. А., Степанова Т. А.  
Стендовая система охлаждения циклового воздуха для микро-ГТУ. Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. – С. 319–324  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-319-324>

### Address for correspondence:

Katenev G. M.  
National Research University Moscow Power Engineering Institute (NRU MPEI)  
Krasnokazarmennaya str., 14, 111250, Moscow, Russia  
e-mail: KatenevGM@mpei.ru

### For citation:

Katenev G. M., Tumanovskii V. A., Stepanova T. A.  
[Experimental cycle air cooling system for gas microturbine unit]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2018, vol. 11, no. 4, pp. 319–324 (in Russian)  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-319-324>

## Experimental cycle air cooling system for gas microturbine unit

**Katenev G. M., Tumanovskii V. A., Stepanova T. A.**

National Research University Moscow Power Engineering Institute (NRU MPEI)  
Krasnokazarmennaya str., 14, 111250, Moscow, Russia,

The article considers the Combustion Turbine Inlet Cooling (CTIC) system — an experimental system for cooling the cycle air entering the gas microturbine unit. This enables to save electrical power of the unit generated at the design level in the period of seasonal increase in air temperature. Cooling of the air at the inlet to the turbocharger of the unit occurs up to its design temperature (which is, according to the ISO standard, equal to 15°C). The basis of the CTIC model is an industrial cooling system based on a vapor compression refrigeration unit with a cold accumulator. Water ice is used as a cold storage medium in the accumulator, while ice water is used as a medium cooling the cycle air (ice water is water at a temperature of 0.5°C – 1°C). The effect of cooling of cycle air is achieved by pumping ice water coming from the cold accumulator through an air-to-water heat exchanger installed at the inlet to the turbocharger. The purpose of the study was to determine the operating time of a cold accumulator, depending on the speed of the circulating water. The experiments were carried out on a model of a cooling system with a cold accumulator having a 200 kg ice storage and working with the Capstone C-30 microturbine. Maintaining the temperature of the cycle air at its design level is achieved using a frequency-controlled circulation pump and a digital measurement and control system with the LabVIEW software package. The results of the study show that the considered CTIC system, while discharging the cold accumulator, is able to maintain the required design temperature of the cycle air at 15°C for 6 hours, which is quite enough to cover the peak load of the working day. Technical and economic parameters of the plant are evaluated.

**KEYWORDS:** Combustion Turbine Inlet Cooling — CTIC, gas microturbine, cycle air, compression refrigerating unit, cold accumulator, ice water, frequency-controlled circulating pump, digital measuring system, software package LabVIEW, Virtual Instrument (VI)

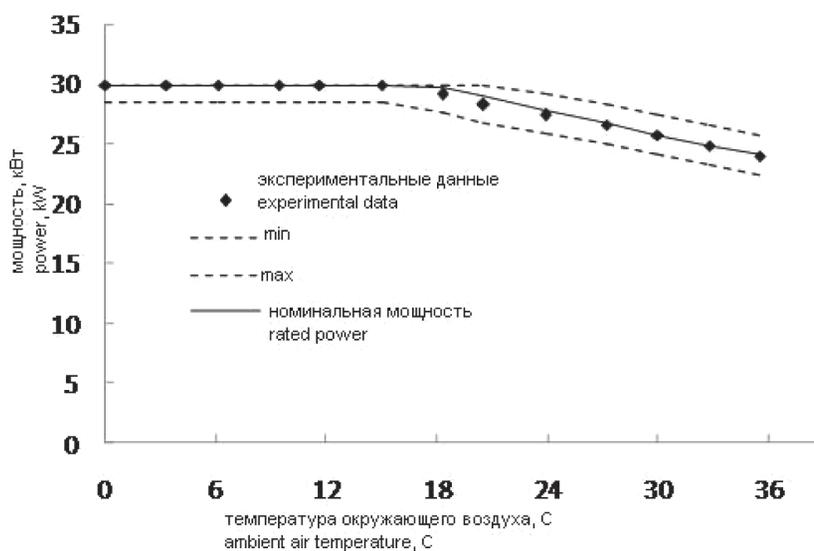
Перспективы развития децентрализованной энергетики тесно связаны с газотурбинными установками (ГТУ) небольших мощностей, где в качестве тепловых двигателей применяются микротурбины (микро-ГТУ). На сегодняшний день в мире производится модельный ряд микро-ГТУ с единичными мощностями в диапазоне от 15 до 1000 кВт, которые при необходимости можно объединять в кластеры, что расширяет диапазон мощностей до 6 МВт.

Для всех ГТУ их расчетная мощность указывается в паспорте при поступлении на вход установки циклового воздуха с постоянным объемным расходом, определяемым температурой 15°C по международному стандарту ISO. С сезонным повышением температуры воздуха выше 15°C плотность циклового воздуха падает, что при соблюдении расчетного объемного расхода, поступающего в ГТУ, вызывает снижение массового расхода и падение вырабатываемой мощности. Зависимости производимой электрической мощности и КПД от сезонного повышения температуры воздуха для микро-ГТУ типа C-30 (мощность 30 кВтэл, фирма Capstone Inc., США) представлены фирмой-производителем и дополнены экспериментальными данными зарубежных исследователей на рисунках 1 и 2 соответственно [1, 2].

Поддержание мощности ГТУ на расчетном уровне достигается за счет

охлаждения циклового воздуха, поступающего в турбокомпрессор установки, до температуры 15°C по стандарту ISO с помощью различных технологических холодильных агрегатов, так называемых CTIC [3–7]. Техничко-экономические аспекты положительного применения CTIC различных типов приведены в [8].

Аккумуляторы холода или термоаккумулирующие системы Thermal Energy Storage (TES) являются основными составляющими агрегатами ряда систем CTIC. Они осуществляют работу по охлаждению циклового



**Рисунок 1.** Зависимость изменения мощности микро-ГТУ от сезонного повышения температуры воздуха

**Figure 1.** The dependence of the power of a gas microturbine unit on the seasonal increase in air temperature

ной для подготовки циклового воздуха в погодных условиях России. Система СТЭС в режиме разрядки аккумулятора способна поддерживать необходимую расчетную температуру циклового воздуха в 15°C в течение 6 часов, что вполне достаточно для покрытия пиковой нагрузки рабочего дня. (Необходимо также принять во внимание, что эксперимент проводился на макетном стендовом образце в далеких от идеальных условиях, поэтому при доработке системы значение времени разрядки аккумулятора может быть увеличено).

На текущий момент для оптимизации системы во времени работы было доступно только ступенчатое частотное регулирование двигателя насоса, что, тем не менее, выявило его как очень действенный метод, поэтому этот метод планируется использовать и для регулирования привода вентилятора воздухоохладителя. Совершенствование структуры ВП, создаваемого в среде LabVIEW, в направлении одномоментного автоматического регулирования работы насоса и вентилятора в системе СТЭС позволит реализовать киберфизическую модель управления и существенно увеличить ресурс активной работы установки.

#### Список использованных источников

1. Product Specification Model C30 Capstone MicroTurbine, 460000 Rev. J. (December 2010): [Electronic resource.] // Capstone Turbine Corporation. URL: <https://www.capstoneturbine.com/> (Date of asking: 28.04.2018.)
2. Friedrich M., Armstrong P. R., Smith D. L. New technology demonstration of microturbine with heat recovery at Fort Drum, New York. Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 2004.
3. Punwani D. V. Turbine inlet cooling case study for an industrial CHP system for multiple buildings in the Midwest. Intern. District Energy Association Annual Conf. Chicago, Illinois, June 2012.
4. Buecker B., Mieczkowski C. Turbine Inlet Air Cooling Cutting Edge Technology. Power Engineering. April 2012; 116(4): 58–62.
5. Hany A. Al-Ansary, Jamel A. Orfi, Mohamed E. Ali Impact of the use of a hybrid turbine inlet air cooling system in arid. Climates Energy Conversion and Management 2013; (75): 214–223.
6. Наши Шахин, Хасан Акул – Фритерм А. С. Системы охлаждения циклового воздуха для газовых турбин // Турбины и дизели 2011, (2): 28–31.
7. Наши Шахин, Хасан Акул – Фритерм А. С. Системы охлажде-

ния циклового воздуха для газовых турбин// Турбины и дизели 2011, (3): 32–35.

8. Sepehr Sanaye, Abbasali Fardad, Masoud Mostakhdemi. Thermo-economic optimization of an ice thermal storage system for gas turbine inlet cooling. Energy 2011; (36): 1057–1067.
9. R. Chacartegui, F. Jimenez-Espadafor, D. Sanchez. T. Sanchez. Analysis of combustion turbine inlet air cooling systems applied to an operating cogeneration power plant. Energy Conversion and Management 2008; (49): 2130–2141.
10. Jean-Pierre Bedecarrats, Françoise Strub. Gas turbine performance increase using an air cooler with a phase change energy storage. Applied Thermal Engineering 2009; (29): 1166–1172.

#### References

1. Product Specification Model C30 Capstone MicroTurbine, 460000 Rev. J. (December 2010): [Electronic resource.] // Capstone Turbine Corporation. URL: <https://www.capstoneturbine.com/> (Date of asking: 28.04.2018.)
2. Friedrich M., Armstrong P. R., Smith D. L. New technology demonstration of microturbine with heat recovery at Fort Drum, New York. Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 2004.
3. Punwani D. V. Turbine inlet cooling case study for an industrial CHP system for multiple buildings in the Midwest. Intern. District Energy Association Annual Conf. Chicago, Illinois, June 2012.
4. Buecker B., Mieczkowski C. Turbine Inlet Air Cooling Cutting Edge Technology. Power Engineering. April 2012; 116(4): 58–62.
5. Hany A. Al-Ansary, Jamel A. Orfi, Mohamed E. Ali Impact of the use of a hybrid turbine inlet air cooling system in arid. Climates Energy Conversion and Management 2013; (75): 214–223
6. Nashi Shahin, Hassan Akul – Friterm A. S. Combustion turbine inlet cooling systems for gas turbines. Turbines and diesel engines 2011; 2: 28–31. (In Russ.)
7. Nashi Shahin, Hassan Akul – Friterm A. S. Combustion turbine inlet cooling systems for gas turbines. Turbines and diesel engines 2011; (3): 32–35. (In Russ.)
8. Sepehr Sanaye, Abbasali Fardad, Masoud Mostakhdemi. Thermo-economic optimization of an ice thermal storage system for gas turbine inlet cooling. Energy 2011; (36): 1057–1067.
9. R. Chacartegui, F. Jimenez-Espadafor, D. Sanchez. T. Sanchez. Analysis of combustion turbine inlet air cooling systems applied to an operating cogeneration power plant. Energy Conversion and Management 2008; (49): 2130–2141.
10. Jean-Pierre Bedecarrats, Françoise Strub. Gas turbine performance increase using an air cooler with a phase change energy storage. Applied Thermal Engineering 2009; (29): 1166–1172.



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-325-331>  
УДК 621.311

## Применение метода нечеткого регрессионного анализа для определения потерь электроэнергии в сетях внутрицехового электроснабжения

**Грачева Е. И.\*, Наумов О. В.**

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия

Поступила / Received 29.05.2018

Принята к печати / Accepted for publication 14.12.2018

Одной из основных задач развития современной промышленности России, наряду с увеличением абсолютных объемов производства электроэнергии (ЭЭ), является усиление контроля за ее более рациональным использованием. Экономия ЭЭ и снижение расхода на ее передачу по электрическим распределительным сетям имеет большое значение для энергетики страны.

По своей физической сущности с точки зрения производства, передачи и потребления потери ЭЭ ничем не отличаются от ЭЭ, полезно отпущенной потребителям. Поэтому оценка потерь энергии в электрических сетях основывается на тех же экономических принципах, что и оценка полезно отпущенной потребителям энергии. Потери ЭЭ оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели сети, так как стоимость потерь включается в расчетную стоимость (приведенные затраты) и себестоимость (годовые эксплуатационные расходы) передачи ЭЭ. Составляющая стоимости потерь в стоимости передачи ЭЭ имеет большой удельный вес.

Представлены результаты исследования возможности применения нечеткого регрессионного анализа для задач оценки и прогнозирования потерь электроэнергии в цеховых сетях. Исходная информация о сети обладает некоторым уровнем неопределенности, что осложняет применение традиционных методов. Приводятся расчет по стандартным и нечетким регрессионным моделям, оценка погрешности данных моделей. Актуальность применения методов нечеткого регрессионного анализа определяется трудностью получения достоверной информации о схемных и режимных параметрах цеховых сетей, вероятностным характером изменения режимов, а также целым комплексом влияющих факторов, плохо поддающихся количественной оценке. Преимущества применения нечеткого регрессионного анализа заключается в получении доверительных интервалов искомых переменных (величины потерь электроэнергии) для схем сетей с неопределенной исходной информацией об их параметрах, что характерно для систем внутризаводского электроснабжения и позволяет учитывать динамику их изменения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрические сети, низкое напряжение, потери электроэнергии, анализ, работоспособность

### Адрес для переписки:

Грачева Е. И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», кафедра ЭПП  
ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия  
e-mail: grachieva.i@bk.ru

### Address for correspondence:

Gracheva E. I.  
Kazan State Power Engineering University, Department EPP  
Krasnoselskaya str., 51, 420066, Kazan, Russia  
e-mail: grachieva.i@bk.ru

### Для цитирования:

Грачева Е. И., Наумов О. В.  
Применение метода нечеткого регрессионного анализа для определения потерь электроэнергии в сетях внутрицехового электроснабжения. Надежность и безопасность энергетики. 2018. – Т. 11, №4. – С. 325–331  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-325-331>

### For citation:

Gracheva E. I., Naumov O. V.  
[Application of fuzzy regression analysis method for determination of electric power losses in intrafactory power supply networks]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2018, vol. 11, no 4, pp. 325–331 (in Russian)  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-4-325-331>

## Application of fuzzy regression analysis method for determination of electric power losses in intrafactory power supply networks

Gracheva E. I.\*, Naumov O. V.

Kazan State Power Engineering University  
51 Krasnoselskaya str., 420066, Kazan, Russia

One of the main objectives of the development of modern industry in Russia, along with an increase in the absolute volumes of electric power (EP) production, is to strengthen control over its more rational use. Saving EP and reducing the cost of its transmission along power distribution networks is of great importance for the country's energy sector.

In terms of their physical nature, in terms of production, transmission and consumption, EP losses are no different from EP served to consumers. Therefore, the assessment of power losses in electrical networks is based on the same economic principles as the assessment of energy served to consumers. EP losses have a significant impact on the technical and economic parameters of the network, since the cost of losses is included in the estimated cost (reduced costs) and cost price (annual operating costs) of EP transmission. The cost component of losses in the cost of EP transmission has a large proportion.

The article presents the results of research on the possibility of application of fuzzy regression analysis for problems of assessment and prediction of electric power losses in intrafactory networks. Initial information on the network is uncertain to some extent, which complicates application of traditional methods. The calculation is presented for conventional and fuzzy regression models, along with estimation of error of these models. The relevance of application of fuzzy regression analysis methods is determined by the difficulty of obtaining reliable information about the circuit and regime parameters of intrafactory networks, the probabilistic nature of change of the modes, as well as a whole complex of affecting factors, which are generally challenging for quantitative assessment. Advantages of application of fuzzy regression analysis consist in obtaining confidence intervals of required variables (value of electric power losses) for schemes of networks with uncertain initial information on their parameters, which is characteristic of intrafactory power supply systems, and enables to consider dynamics of their variation.

KEYWORDS: electrical networks, low voltage, electric power losses, analysis, serviceability

В нечетком регрессионном анализе функция отклика (в нашем случае это эквивалентное сопротивление участка сети) и коэффициенты нечеткого уравнения регрессии представляются в виде нечетких множеств, имеющих треугольные функции принадлежности.

Нечеткое подмножество  $A$  универсального множества  $X$  характеризуется функцией принадлежности  $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ , которая ставит в соответствие каждому элементу  $x \in X$  число  $\mu_A(x)$  из интервала  $[0, 1]$ , характеризующее степень принадлежности элемента  $x$  подмножеству  $A$ . Проще говоря, функция принадлежности (membership function) — это функция, которая каждому значению переменной в границах каждого множества ставит в соответствие значение в интервале от 0 до 1 [1].

Тогда нечеткое подмножество  $A = \{x, \mu_A(x)\}$  определяется как совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов  $x$  универсального множества  $X$  и соответствующих степеней принадлежности  $\mu_A(x)$ .

Для конечного нечеткого множества  $A$  с функцией принадлежности  $\mu_A(x)$  в [2] введено следующее обозначение на основном множестве  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ :

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}.$$

Так как в нечетких регрессионных моделях наиболее распространенным типом функции принадлежности является треугольный, имеет смысл его рассмотреть.

Треугольные функции принадлежности делятся на симметричные и асимметричные. В данном случае наибольший интерес представляет симметричная треугольная функция принадлежности.

Треугольная функция принадлежности с увеличением  $x$  монотонно растет, достигает максимума и затем монотонно падает. Для такой функции принадлежности характерны следующие основные особенности (рисунок 1) [3].

Прежде всего, следует отметить, что разброс по оси абсцисс влево (обозначается  $L$ , от англ. слова left) от центра  $m$  равен разбросу вправо (обозначается  $R$ , от англ. слова right). В целом такой тип функции принадлежности называют LR-изображением.

Значение функции принадлежности нечеткого множества  $A$  на основном интервале  $[\alpha, \beta]$  можно определить, предварительно получив значение центра основного интервала  $m$ :

$$m = \alpha + \frac{\beta - \alpha}{2},$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L(m - x) & \text{для } x \in [\alpha, m] \\ R(x - m) & \text{для } x \in [m, \beta] \end{cases}.$$

Таким образом, можно сказать, что нечеткий регрессионный анализ позволяет найти интервал оценивания коэффициентов регрессии  $b_0, \dots, b_n$ .

Точечные значения коэффициентов регрессии  $b_i$  хо-

валентном сопротивлении  $r_3$  задается детерминированно, что позволяет осуществить построение как стандартной регрессионной модели, так и нечетких регрессионных моделей. Центральная линия регрессии комбинированного метода совпадает со стандартной линией регрессии, о чем свидетельствует равенство коэффициентов регрессии в уравнениях стандартной регрессии с коэффициентами, обозначающими выборочные средние значения. Однако наличие уравнений, содержащих доверительные интервалы, позволяет учесть вариант с неопределенной исходной информацией. Таким образом, если невозможно точно определить коэффициенты регрессии, можно указать интервал, в котором находятся точные значения, что уже существенно облегчает расчеты. Кроме того, снижение надежности  $\gamma$  приведет к сужению доверительного интервала, а, следовательно, и к увеличению точности оценки [10].

Наиболее точные расчеты коэффициентов регрессии позволяют осуществлять стандартные и комбинированные регрессионные модели. Нечеткие модели — наметить диапазон изменения коэффициентов регрессии.

Определенную роль играет и число независимых экспериментов, которое составляет число степеней свободы. Число степеней свободы влияет на величину  $\epsilon$ , которая характеризует точность оценки. Таким образом, в случае одинаковой доверительной вероятности увеличение числа опытов приведет к увеличению числа степеней свободы, что, в свою очередь, позволяет сузить доверительный интервал, и, следовательно, точнее приблизиться к истинному значению коэффициентов регрессии, что особенно важно при нечеткой исходной информации.

#### Список использованных источников

1. Шпиганович А. Н., Шпиганович А. А., Зацепин Е. П. Особенности функционирования многоуровневых систем электроснабжения. Вести высших учебных заведений Черноземья 2018; 3(53): 12–24.
2. Письменный Д. Т. Конспект лекций по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Айрис-пресс 2014; 256.
3. Кудрин Б. И. Расчет электрических нагрузок потребителей: история, состояние, комплексный метод. Промышленная энергетика 2015; (5): 14–22.
4. Жежеленко И. В., Кротков Е. А., Степанов В. П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат 2017; 256.
5. Справочник по общим моделям анализа и синтеза надежности систем энергетики. Т.1/ Под ред. Ю. Н. Руденко. – М.: Энергоатомиздат 2013; 462.
6. Грачева Е. И., Наумов О. В. Оценка точности расчета электрических нагрузок промышленных предприятий. Вести высших учебных заведений Черноземья 2018; 3(53): 3–12.

7. Грачева Е. И., Юсупов А. Р. Расчет экономии электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. Электрооборудование. Эксплуатация и ремонт 2014; (6): 52–57.

8. Надтока И. И. Предельные законы распределения для взаимной корреляции нагрузок электроприемников. Известия высших учебных заведений. Электромеханика 2014; (6): 10–13.

9. Вошинин А. П., Акматбеков Р. А. Оптимизация по регрессионным моделям и планирование эксперимента. – Бишкек: Илим 2015; 164.

10. Fedorov O. V. Assessment of influence parameters of electric equipment at a size of losses the electric power in intrafactory networks of low voltage. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016; South Ural State University Chelybinsk; Russian Federation; May 19–20. 2016. Category number CFP16F42-ART. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911463.

#### References

1. Shpiganovich A. N., Shpiganovich A. A., Zatspein E. P. Features of the functioning of multi-level power supply systems. News of the higher educational institutions of the Black Soil Region 2018; 3(53): 12–24. (In Russ.)
2. Pis'mennyy D. T. Summary of lectures on probability theory and mathematical statistics. – M.: Iris-press 2014; 256. (In Russ.)
3. Kudrin B. I. Calculation of electrical loads of consumers: history, state, complex method. Industrial energy 2015; (5): 14–22. (In Russ.)
4. Zhezhenko I. V., Krotkov E. A., Stepanov V. P. Methods of probabilistic modeling in calculating the characteristics of electrical loads of consumers. – 3rd ed., Pererab. and additional. – M.: Energoatomizdat 2017; 256. (In Russ.)
5. Reference book on the general models of the analysis and synthesis of the reliability of energy systems. Vol.1 / Ed. Yu. N. Rudenko. – M.: Energoatomizdat 2013; 462. (In Russ.)
6. Gracheva E. I., Naumov O. V. Assessment of the accuracy of the calculation of electrical loads of industrial enterprises. News of the higher educational institutions of the Black Soil Region 2018; 3(53): 3–12. (In Russ.)
7. Gracheva E. I., Yusupov A. R. Calculation of energy savings in industrial power systems. Electrical equipment. Maintenance and repair 2014; (6): 52–57. (In Russ.)
8. Nadтока I. I. Limit distribution laws for mutual correlation of loads of electrical receivers. News of higher educational institutions. Electromechanics 2014; (6): 10–13. (In Russ.)
9. Voshchinin A. P., Akmatbekov R. A. Optimization by regression models and experiment planning. – Bishkek: Ilim 2015; 164. (In Russ.)
10. Fedorov O. V. Assessment of influence parameters of electric equipment at a size of losses the electric power in intrafactory networks of low voltage. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016; South Ural State University Chelybinsk; Russian Federation; May 19–20. 2016. Category number CFP16F42-ART. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911463. (In Eng.)



## ИНФОРМАЦИЯ

### Седьмая международная научно-техническая конференция «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ»



8 ноября 2018 г. в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете (НИУ МГСУ) состоялась Седьмая международная научно-техническая конференция «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции», посвященная 90-летию начала подготовки специалистов по теплогазоснабжению и вентиляции (ТГВ) в МГСУ-МИСИ. Основной тематикой, как и прежде, стали вопросы энергосбережения, теоретические аспекты и перспективные направления научных исследований в области ТГВ и результаты их практического применения в современных условиях. В конференции приняли участие преподаватели, студенты ВУЗов, сотрудники научно-исследовательских, проектных и производственных организаций РФ, стран ближнего и дальнего зарубежья. Конференция открылась расширенным пленарным заседанием по некоторым общим вопросам науки ТГВ. По итогам конференции в издательстве МИСИ-МГСУ запланирован выпуск сборника докладов.

На пленарном заседании состоялись выступления ведущих представителей научного сообщества в области ТГВ из различных вузов и научно-исследовательских организаций РФ. В том числе проф., д. т. н. В. Г. Гагарина (НИУ МГСУ) по Изменению №1 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», проф., д. т. н. Т. А. Дацюк и Е. А. Аншуковой (СПбГАСУ) по проектированию энергоэффективных зданий с применением BIM-технологий, доц., д. т. н. М. В. Бодрова и доц., к. т. н. В. Ю. Кузина (ННГАСУ) об особенностях проведения капитального ремонта систем обеспечения микроклимата жилого фонда; доц., к. т. н. В. А. Жилы (НИУ МГСУ) о расчете надежности распределительных систем газоснабжения. Далее работа конференции проходила в формате двух тематических секций: «Вентиляция и теплогазоснабжение» и «Строительная теплофизика».

Среди докладов по вопросам строительной теплофизики, можно отметить работы, выполненные под руководством и при участии профессора кафедры ТГВ НИУ МГСУ Е. Г. Малявиной, в частности, доц. кафедры ТГВ к. т. н. О. Ю. Маликовой о необходимости детализации вероятностно-статистической модели климата; доц. кафедры ТГВ к. т. н. А. А. Фроловой о технико-экономическом обосновании целесообразной теплозащиты ограждений зданий, асп. кафедры ТГВ Фам Ван Лыонга (Вьетнам) о новом подходе к выбору обеспеченности расчетных параметров наружного климата в теплый период года при выборе оборудования для обработки приточного воздуха. В рамках данной секции можно отметить также работы студента НИУ МГСУ А. С. Костицына под руководством доц. кафедры ТГВ, к. т. н. В. В. Агафоновой об оценке влияния качества воздуха на состояние людей, сотрудников Саратовского ГТУ И. М. Бычковой и С. Г. Культяева под руководством доц., д. т. н. Н. Н. Осиповой о разработке математической модели теплообмена камеры редуцирования с окружающим грунтовым массивом. В секции «Вентиляция и теплогазоснабжение» наибольшее число докладов было представлено сотрудниками СПбГАСУ. В том числе, доклады д. т. н. В. М. Уляшевой, к. т. н. А. Ю. Мартыановой и магистра А. К. Ромуз о принципиальных схемах подогрева нефти утилизируемой теплотой газотурбинной установки на компрессорной станции магистрального газопровода, представителя СПбПУ О. В. Аверьяновой о методике определения энергоэффективности внутренних инженерных сетей с единым контуром теплонасосных установок, представителей КГАСУ к. п. н. Г. М. Ахмеровской, инж. А. Е. Ланцова и магистра И. И. Низамова о совершенствовании расчета местных тепловых потерь от запорной арматуры трубопроводов тепловых сетей, сотрудника кафедры ТВГ НИУ МГСУ доц., к. т. н. А. К. Ключко об упрощенном алгоритме определения показателя надежности газораспределительной сети.

Данная конференция — уже седьмая по счету. Она проводилась в рамках общего комплекса мероприятий, посвященных 90-летию начала подготовки специалистов по ТГВ в МИСИ-МГСУ. Рассматриваемый форум продолжает традицию проведения академических чтений в области ТГВ, которые регулярно, начиная с 2005 г., устраивались на базе ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ». В современных условиях важно на постоянной основе формировать площадку для обмена передовыми мнениями и идеями всех заинтересованных участников отрасли, а также зарубежных коллег. Такой площадкой все эти годы была и остается ноябрьская конференция в МГСУ-МИСИ.

*О. Д. Самарин, доцент, канд. техн. наук (НИУ МГСУ)*



network for energy supply and energy efficiency

## Научная конференция международной сети университетов в области энергообеспечения и энергоэффективности NESEFF

С 12 по 16 ноября 2018 г. в Бранденбургском Техническом университете (БТУ) г. Котбус-Зенфтенберг (Германия) состоялась научная конференция Международной партнерской сети университетов NESEFF на тему: «Влияние глобального изменения климата на энергопотребление зданий в различных странах».

Данное мероприятие было проведено в рамках ежегодных встреч партнеров сети. С момента образования сети NESEFF в 2015 г. представители университетов – партнеров встречаются на регулярной основе на различных площадках в Германии, Азербайджане, России, Чехии.

Конференцию открыли приветственными речами научный руководитель NESEFF, д. т. н., проф. З. Зимон (БТУ) и его заместитель д. т. н., проф. В. В. Куличихин (НИУ «МЭИ»). Тематики докладов охватили широкий спектр вопросов, связанных с изменением климата, с решением задач энергосбережения и повышения энергоэффективности, использованием возобновляемых источников энергии, применением новых энергосберегающих технологий в зданиях. На конференции также были сделаны доклады об организации учебной и научной работы в университетах сети NESEFF.

В настоящий момент партнерская сеть NESEFF насчитывает десять университетов:

- Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва, Россия;
- Национальный горный университет, г. Днепр, Украина;
- Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджан;
- Бранденбургский технический университет, г. Котбус-Зенфтенберг, Германия;
- Технический университет, г. Либерец, Чехия;
- Политехнический университет, г. Вроцлав, Польша;
- Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Россия;
- Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства, г. Баку, Азербайджан;
- Федеральный институт исследований и испытаний материалов, Германия;
- Технический университет, г. Дрезден, Германия.

Для участников конференции были организованы экскурсии по научным и учебным лабораториям Бранденбургского Технического университета, а также на предприятие по добыче бурого угля и угольный разрез Welzow-Sud, расположенный рядом с паротурбинной электростанцией Schwarze Pumpe с установленной электрической мощностью 1600 МВт. Участники конференции ознакомились с тепловой схемой и получили информацию о современных технологиях сжигания бурого угля, применяемых на данной электростанции.

Все мероприятия конференции проходили в теплой, дружественной атмосфере на высоком профессиональном уровне. Участники конференции выразили благодарность за прекрасную организацию руководителю NESEFF д. т. н., проф. З. Зимону, представителю международного офиса БТУ, г-же М. Левандровски и к. т. н., доц. А. Штрауб.



На фото участники конференции



24 декабря 2018 года исполнилось 70 лет **Музыке Леониду Петровичу**, который всю свою трудовую деятельность посвятил подготовке специалистов для энергетической отрасли.

В 1966 г. Музыка Леонид Петрович поступил в Павлодарский индустриальный институт, который закончил в 1971 г. В 1978 г. защитил кандидатскую диссертацию. В 1984 г. получил звание доцента по кафедре промышленной теплоэнергетики.

В 1971–1997 гг. Леонид Петрович работал в Павлодарском индустриальном институте в различных должностях, в том числе заведующим кафедрой тепловых электрических станций и деканом теплотехнического факультета. В 1985 г. после обучения в Московском педагогическом институте иностранных языков был направлен в заграничную командировку в Аннабинский университет (Алжир). За годы работы в ВУЗах Леонид Петрович подготовил большое количество специалистов теплотехнического профиля для российской и зарубежной энергетики, является автором более 140 научных и научно-методических публикаций, 10 авторских свидетельств на изобретение.

В 1998 г. Л. П. Музыка был назначен на должность управляющего АО «Севказэнергоремонт», где занимался организацией ремонта оборудования электрических станций северо-восточных областей Казахстана.

В 2001–2012 г. Леонид Петрович работал в системе ОАО «Омскэнерго» и ОАО «МРСК Сибири», сначала заместителем директора Омской ТЭЦ-4, затем директором НОУ «Учебный центр «Энергетик». В должности директора центра обеспечил создание новой учебно-материальной базы. Сфера деятельности центра расширилась за счет филиалов в гг. Красноярске, Томске, Кемерово, Барнауле, Улан-Удэ, Чите, материально-технической и учебно-методической базы для дистанционного обучения персонала ОАО «МРСК Сибири». Перечень лицензированных МИНОБР РФ учебных программ, по которым центру предоставлено право ведения образовательной деятельности, увеличился с 10 до 288 наименований. На базе учебного центра в 2003 г. создан Омский филиал Ивановского энергетического колледжа.

Для обеспечения необходимого уровня подготовки специалистов на базе учебного центра под руководством Леонида Петровича в 2006 г. организовано представи-

тельство Международного института менеджмента ЛИНК. Оно прошло аттестацию и получило категорию «Региональный административный центр». Более 200 специалистов предприятий энергетики прошли обучение и получили дипломы по специальности «Менеджмент».

Леонид Петрович принимал активное участие в организации семинаров-совещаний по подготовке персонала ОАО РАО «ЕЭС России», которые в период 2004–2010 гг. проводились на базе учебного центра в г. Омске.

С 2008 г. и по настоящее время Л. П. Музыка является членом редакционной коллегии научно-технического журнала «Надежность и безопасность энергетики».

За достижения в труде Л. П. Музыка награжден медалью «За доблестный труд», Почетными грамотами ОАО «Омскэнерго», ОАО «МРСК Сибири», РАО «ЕЭС России», занесен на доску почета ОАО «Омскэнерго» и ОАО «МРСКК Сибири», удостоен звания «Ветеран труда».

Редакционная коллегия журнала с огромным удовольствием поздравляет своего коллегу с семидесятилетием и желает ему продолжения творческой деятельности на ниве просвещения молодых энергетиков города Омска и его окрестностей, таких, как Красноярск, Кемерово, Барнаул, Улан-Удэ, Чита и так далее.

Дорогой Леонид Петрович! Mon cher ami! Конечно в Запорізькій Січі мало хто знав французський мову, так що молодий казак Музыка с Гуляйполя мог стать справным толмачем. Судьба твоя в лучшую сторону отличается от судьбы нашего земляка Тараса Григорьевича Шевченко, но и тебе тоже пришлось хлебнуть «горячего до слез» в казахстанских степях. Ермаком ты, правда, не стал, но одноименную ГРЭС ты успешно ремонтировал, причем так, что ее были вынуждены переименовать в Аксу (пусть так, все лучше, чем Акмалы). Однако, несмотря на твою полиглотность, перевести все учебники по теплотехнике на казахский язык тебе все-таки не удалось. Но не унывай, дорогой Леонид Петрович, сейчас тебе бы пришлось снова их переводить с кириллицы на латиницу. Так что тебе в очередной раз повезло. И пусть так будет всегда.

Желаем тебе счастья и здоровья. Обнимаем. Твои друзья и коллеги.

## Журналу "Надежность и безопасность энергетики" 10 лет!



А. Н. Назарычев

Среди периодических изданий по вопросам современной электроэнергетики журнал "Надежность и безопасность энергетики" с учетом тематической направленности занимает очень важное место. За 10 лет существования журнал, безусловно, превратился для специалистов в авторитетное издание, на страницах которого обсуждаются актуальные проблемы базовых свойств энергетики — надежности и безопасности отрасли. Публикуемые статьи отмечены высоким качеством и наличием экспертной оценки. Журнал входит в перечень ведущих рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

С первых номеров политика журнала придерживалась продвижению отечественной энергетической школы. Специалисты энергетики и научные работники видят в нем надежного помощника в профессиональной деятельности. Авторами журнала являются специалисты и руководители энергетических предприятий, эксперты из различных отраслей ТЭК, крупные ученые и молодые исследователи. Они формируют и развивают теоретические основы и практические аспекты актуальных вопросов надежности и безопасности энергетики. С журналом постоянно сотрудничают ведущие специалисты энергетических образовательных и научных организаций России.

За 10 лет журнал превратился в настольное практическое пособие для работников энергетического комплекса. При этом публикуемые в каждом номере умные и с юмором афоризмы являются приятным бонусом для читателей.

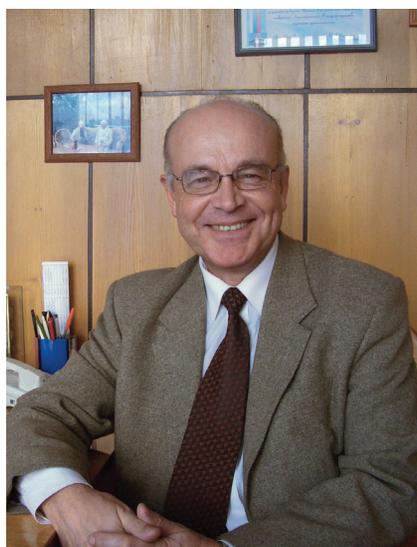
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования "Петербургский энергетический институт повышения квалификации" (ФГАОУ ДПО ПЭИПК) Министерства энергетики Российской Федерации благодарит журнал за сотрудничество, высоко оценивает труд членов редакционной коллегии и сотрудников редакции журнала "Надежность и безопасность энергетики".

Желаю Вам здоровья, благополучия, творческих свершений, а читателям журнала — новых интересных и полезных статей.

***С юбилеем, уважаемые коллеги!***

*А. Н. Назарычев, д. т. н., профессор  
Ректор ФГАОУ ДПО "ПЭИПК" Минэнерго России  
Заслуженный работник ЕЭС РФ, Почетный энергетик*

## Журналу "Надежность и безопасность энергетики" 10 лет!



В. И. Шарапов

Главному редактору журнала "Надежность и безопасность энергетики" доктору технических наук, профессору С. И. Магиду

Сердечно поздравляю Вас и всю редакцию журнала "Надежность и безопасность энергетики" с десятилетним юбилеем журнала!

За это десятилетие журнал стал одним из самых авторитетных и уважаемых отечественных научных изданий по энергетике. Публикуемые в журнале материалы имеют острую актуальность и высокий научно-технический уровень, чему в значительной мере способствуют профессионализм редакции и ее должная требовательность к качеству направляемых в журнал статей.

Желаю нашему журналу и в дальнейшем поддерживать столь же высокий уровень!

*Заведующий кафедрой ТГВ,  
руководитель НИЛ "Теплоэнергетические системы и установки"  
Ульяновского государственного технического университета  
доктор техн. наук, профессор В. И. Шарапов*



А. И. Таджибаев

Надежность и безопасность в энергетике являются ключевыми свойствами обеспечения бесперебойного и качественного снабжения потребителей энергоносителями, поэтому название и наполнение журнала предопределили его востребованность и популярность. Журнал своими публикациями дал начало многим важным направлениям в научной и производственной деятельности в области энергетики.

Сердечно поздравляю главного редактора, всех участников формирования содержания и подготовки к изданию с 10-летием научно-технического журнала!

*Заслуженный энергетик,  
д. т. н., профессор Таджибаев А. И.*

## Журналу "Надежность и безопасность энергетики" 10 лет!



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)



От имени сотрудников Казанского государственного энергетического университета поздравляем редакционную коллегию, авторов и его читателей с десятилетием журнала «Надежность и безопасность энергетики».

Несмотря на то, что редакция журнала отмечает свой первый юбилей, был пройден большой путь развития, завоевания симпатии читателей в научной, научнопедагогической и производственной сферах. Для журнала это возраст, когда уже можно подвести первые итоги работы и оценить возможные направления дальнейшего развития и профессионального роста.

В настоящее время журнал «Надежность и безопасность энергетики» занимает почетное место среди лучших мировых научных журналов, публикующих статьи, посвященные вопросам развития энергетической отрасли.

Профессионализм редакторов журнала, экспертов и рецензентов позволяет читателям с высоким уровнем доверия знакомиться с инновационными разработками и передовыми достижениями в области энергетики. Публикуемые в журнале статьи отличает высокий научный

уровень, который достигается педантичностью и скрупулезностью, с которой авторы и редакторы подходят к публикациям.

Благодаря разнообразию рубрик, затрагивающих широкий спектр освещаемых вопросов в области надежности и безопасности энергетики, у журнала весьма обширная читательская аудитория среди сотрудников научных учреждений, высших учебных заведений, работников предприятий энергетики и других отраслей промышленности.

Желаем Журналу и его сотрудникам благополучия, сохранения сложившихся за годы работы традиций, долгой истории и новых творческих и профессиональных успехов.

Директор Института теплоэнергетики,  
заведующий кафедрой  
«Тепловые электрические станции»  
д-р хим. наук, профессор

Н. Д. Чичирова

## Журналу "Надежность и безопасность энергетики" 10 лет!



Е. П. Грабчак

Уважаемые коллеги!

Поздравляю Вас и творческий коллектив журнала «Надежность и безопасность энергетики» с 10-летним юбилеем!

За 10 лет журнал, некогда ставший первым «глянцевым исполнением» в электроэнергетике вырос до серьезного научно-практического издания, публикующего на своих страницах статьи на актуальные темы, затрагивающие все стороны современной энергетики. Вы приняли на себя непростую задачу донести до читателя актуальную информацию о предстоящих событиях, новых технологиях, планах и перспективах развития энергетики России. И с этой задачей, как показало десятилетие работы на рынке СМИ, вы справляетесь успешно. В журнале освещаются общие вопросы, связанные с надежностью и безопасностью энергогенерации, энергоснабжения и энергопотребления, обеспечения надежности и безопасности производства электроэнергии и тепла, электрической и технологической живучести, управления режимами работы технологического оборудования, а также готовности сетей к выполнению режимов генерации и потребления электроэнергии.

Пусть этот первый «круглый» юбилей станет началом отсчета новых страниц в истории журнала, наполненной интересными делами, нестандартными решениями.

Желаю Вам и коллективу творческих удач, реализации новых планов и благополучия!

Убежден, что опыт, компетентность, приверженность традициям позволят Вам и впредь уверенно смотреть в будущее, добиваться новых успехов на благо энергетики России.

Директор Департамента  
оперативного контроля и управления  
в электроэнергетике Минэнерго РФ



Е. П. Грабчак

## Журналу "Надежность и безопасность энергетики" 10 лет!



С. В. Мищеряков

Уважаемые коллеги – члены редакции научно-технического журнала «Надежность и безопасность энергетики»!

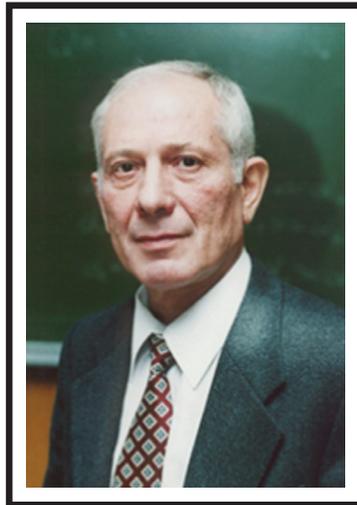
От имени коллектива Корпоративного энергетического института примите искренние поздравления с первой «круглой» датой — 10-летием журнала.

Мы прекрасно помним как зарождался Ваш (и наш) журнал. Как после издания ряда скромных, но, тем не менее, актуальных и специализированных сборников статей, которые периодически выпускались «Ассоциацией образовательных учреждений электроэнергетики» дружным коллективом авторов-единомышленников (Магид С. И., Мищеряков С. В., Загретдинов И. Ш., Кропачев С. А., Музыка Л. П., Таджикиев А. И., Архипова Е. Н., Черных Л. П. и др.), у авторов статей родилась мысль — издать «Свой» журнал, который бы более широко освещал насущные проблемы реформируемой электроэнергетической отрасли нашей страны. И такой журнал был создан — в мае 2008 года вышел первый номер журнала «Надежность и безопасность энергетики». Естественно, что решение основных финансовых и организационных проблем по изданию журнала принял на себя главный редактор д.т.н., проф. Магид Сергей Игнатьевич. Тем не менее, «костяк» редколлегии — авторы-единомышленники помогали ему, чем могли, и физически и морально.

Прошли годы, журнал окреп, выросла редакционная коллегия, появились новые авторы, расширился круг читателей как в России, так и за рубежом. Журнал стал престижным, вошел в перечень ВАК, во многие отечественные и зарубежные базы данных и уверенно развивается далее.

Так держать, уважаемые коллеги и друзья!  
Еще раз поздравляю с юбилеем.

*Генеральный директор Корпоративного  
Энергетического института  
С. В. Мищеряков*



Редакционная коллегия научно-технического журнала «Надежность и безопасность энергетики» глубоко скорбит в связи со смертью  
**Урьева Евгения Вениаминовича**

*31 мая 1944 г. – 06 ноября 2018 г.*

6 ноября 2018 г. на семьдесят пятом году жизни скончался выдающийся ученый и инженер, профессор, доктор технических наук, Лауреат премии Правительства России в области науки и техники Урьев Евгений Вениаминович.

Урьев Е. В. родился в г. Свердловске в 1944 г.

В 1967 г. Урьев Е. В. закончил кафедру «Турбостроение» Уральского политехнического института (УПИ). С 1967 по 1974 гг. работал на этой кафедре сначала ассистентом, а затем младшим и старшим научным сотрудником.

В 1974 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию и начал работать на ПО «Турбомоторный завод» (в настоящее время АО «Уральский турбинный завод» — УТЗ) по совершенствованию методик повышения динамической и вибрационной надежности турбомашин. На УТЗ Урьев Е. В. трудился до 1992 г. в должностях руководителя группы, начальника конструкторского бюро, заведующего отделом вибрации и прочности СКБт. При его участии сформировалась одна из лучших лабораторий вибрации, коллективом которой решался весь спектр вопросов динамической надежности элементов турбомашин.

С 1992 по 1995 гг. Урьев Е. В. являлся директором и научным руководителем НПП «Инус». В 1995 г. Урьев Е. В. возвратился в УПИ на кафедру «Паровые и газовые турбины», где в 1997 г. защитил докторскую диссертацию, а в 1998 г. получил звание профессора.

В должности профессора кафедры «Турбины и двигатели» Урьев Е. В. работал до 2014 г. За годы работы на кафедре им была воспитана целая плеяда инженеров и кандидатов технических наук, которые трудятся в отечественной энергетике и газовой промышленности.

С 2015 г. Урьев Е. В. работал научным руководителем ООО «НПП «Уральская лаборатория вибрации». За это время им были разработаны алгоритмы регистрации крутильных колебаний валопроводов турбомашин и методики их обработки, создана первая в отечественной энергетике стационарная система контроля крутильных колебаний.

Урьевым Е. В. было опубликовано более 150 статей, каждая из которых написана на высоком профессиональном уровне, но при этом на языке, доступном для широкого круга читателей.

За успехи в профессиональной деятельности Урьев Е. В. был отмечен рядом Всесоюзных и Всероссийских отраслевых наград, грамотами Минэнерго-маша, Минэнерго, Минобразования и Губернатора Свердловской области, награжден премией Правительства России в области науки и техники.

В памяти его друзей, коллег и учеников навсегда останется светлый образ Евгения Вениаминовича. Его Имя будет служить образцом преданности своему делу, ответственности, красоты инженерных решений и лучших человеческих качеств.

*Редакционная коллегия выражает  
глубокие соболезнования родным и близким  
Евгения Вениаминовича Урьева*



# ТРЕНАЖЕР ГЛАВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТАНЦИИ

Фирма АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (АО «ТЭСТ») разработала компьютерный тренажерный комплекс главной электрической схемы станции с ОРУ-220 кВ, ОРУ-110 кВ, КРУ-6 кВ.

Тренажер главной электрической схемы станции прошел приемо-сдаточные испытания.

Тренажер главной электрической схемы станции прошел государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Тренажер главной электрической схемы станции может применяться для обучения оперативного персонала электростанции выработке и распределению электрической энергии на электростанциях, в учебных центрах, высших и средних учебных заведениях.

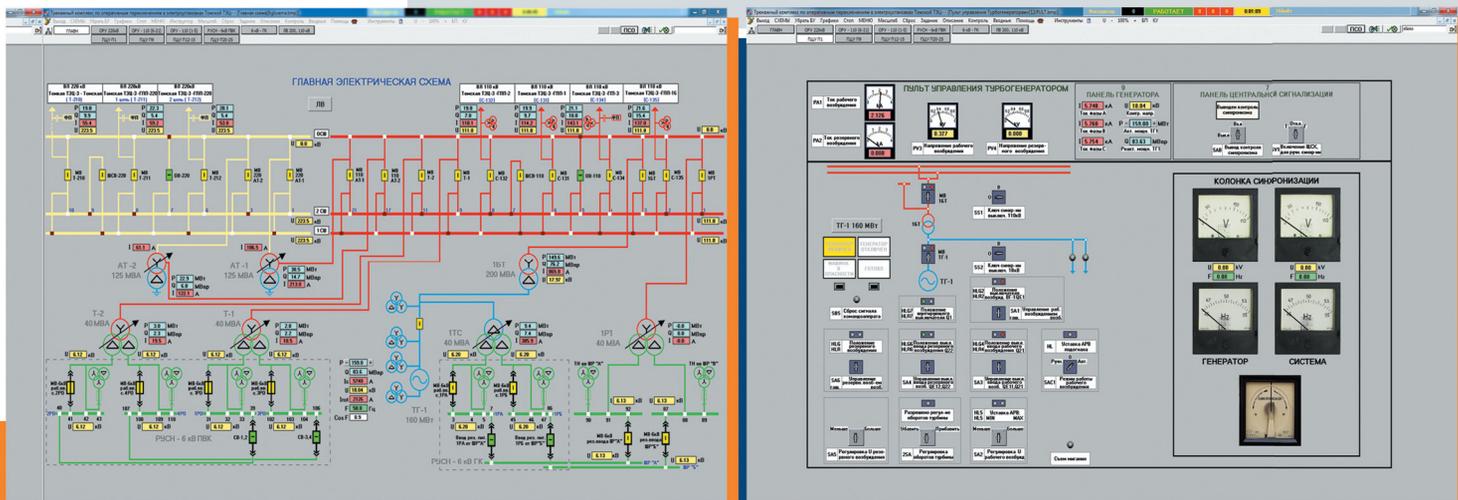


## Состав главной электрической схемы станции:

- ОРУ-220 кВ
- ОРУ-110 кВ
- КРУ-6 кВ
- 2 автотрансформатора AT1, AT2
- генератор ТВВ-160-2ЕУ3
- блочный трансформатор 110/18 кВ
- трансформатор собственных нужд 18/6 кВ
- 2 трансформатора 110/6 кВ
- 1 резервный трансформатор 110/6 кВ

## Состав тренажера главной электрической схемы станции:

- активные динамические мнемосхемы 12 шт.
- всережимная физическая модель
- модель РЗА (релейных защит и автоматики), блокировок, сигнализаций, АВР
- комплект технических средств (плакаты, УВН)
- развитая конфигурация сети
- пульт инструктора
- комплект аварийных ситуаций
- контролирующая программа
- комплект автоматизированных сценариев тренировок с оценкой
- графопостроение
- сохранение режимов
- система поддержки оператора
- протоколы действий оператора, ошибок, сигнализации, защит, блокировок



АО «Тренажеры электрических станций и сетей»:

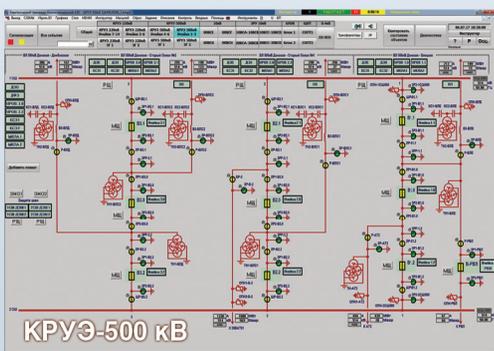
117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6  
Тел. (495) 665-76-00, факс (495) 382-79-74  
e-mail: magid@testenergo.ru, www.testenergo.ru



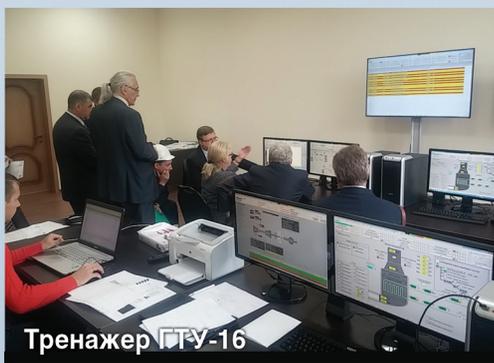
## ТЭСТ Тренажеры электрических станций и сетей



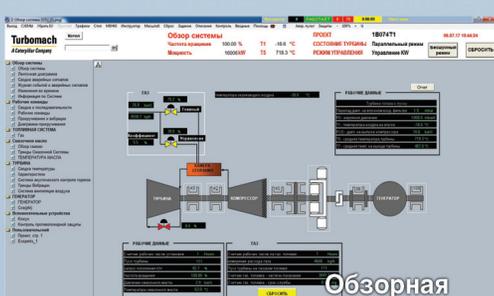
Тренажер Главной электрической схемы станции



КРУЭ-500 кВ



Тренажер ГТУ-16



Обзорная схема ГТ-16

### Гарантии надежности персонала

- всережимность IT-тренажеров, полная адекватность модели объекта и рабочего места оператора энергообъекту-прототипу
- новейшие компьютерные методы обучения штатному и противоаварийному управлению
- информационное и дидактическое качество обучающих программ
- создание единого тренажерного комплекса для подготовки всего персонала энергопредприятия

### Современные информационные технологии

- реализация любых энергообъектов и систем управления
- реализация современных дидактических Web-приложений
- значительное снижение стоимости при росте качества и функциональности
- гибкая интеграция в компьютерную сеть предприятия

### Российский и международный опыт

- 40 лет на российском и зарубежных рынках, аккредитация при Правительстве РФ и ЮНЕСКО
- российская нормативная сертификация
- международная сертификация качества
- апробация на российских и международных выставках
- официальная эффективность внедрения на объектах электроэнергетики
- патентная защищенность программного продукта

Россия, 117587, г. Москва,  
Варшавское шоссе, 125Ж  
Тел. (495) 665-7600, (495) 382-7974  
<http://www.testenergo.ru>,  
e-mail: [magid@testenergo.ru](mailto:magid@testenergo.ru)

ISSN: 1999-5555



**Новые модели тренажеров!**

