

# НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ

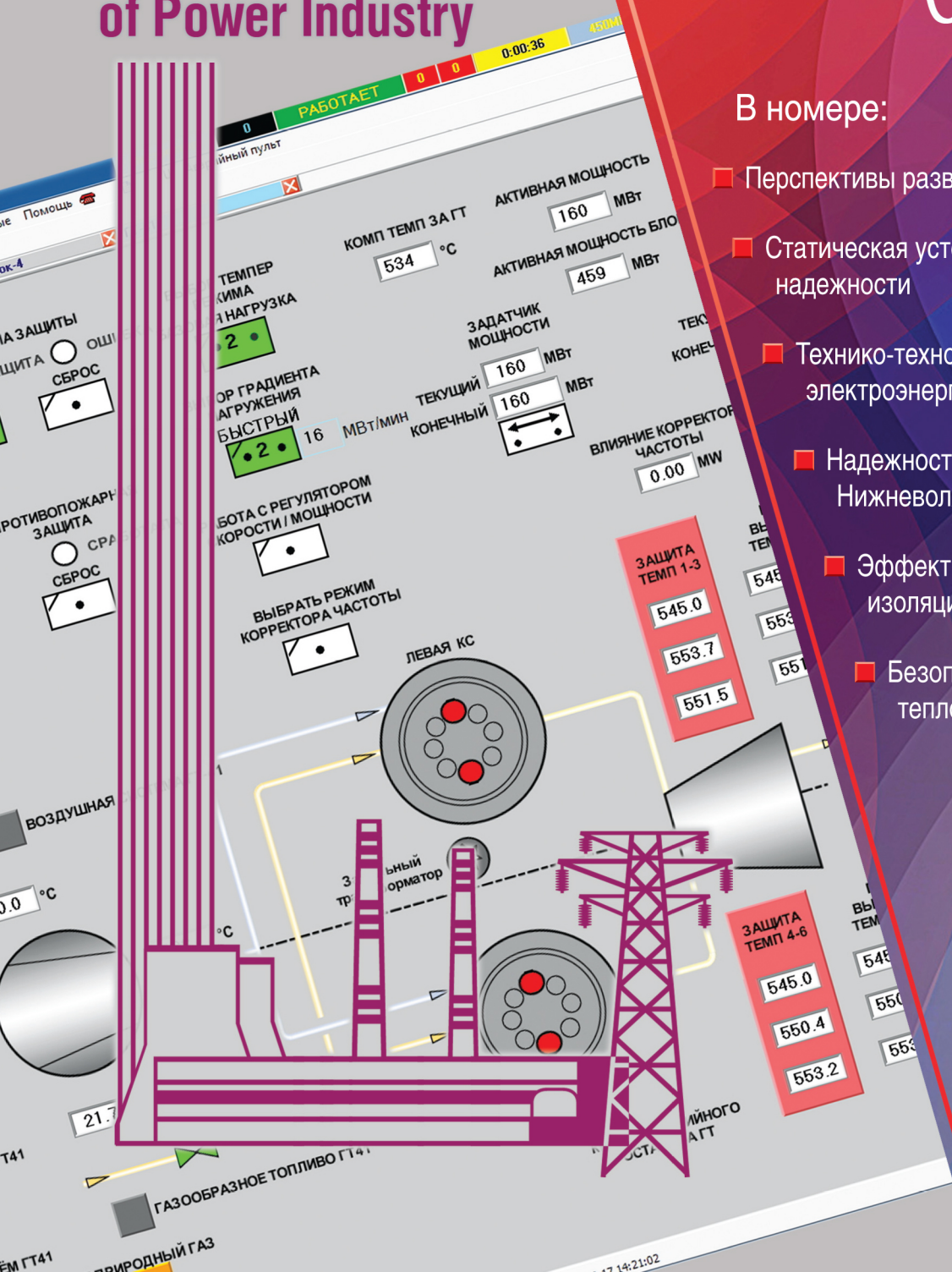


Том 10 №2 2017

## Safety & Reliability of Power Industry

В номере:

- Перспективы развития газотурбинных установок
- Статическая устойчивость в задачах надежности
- Техничко-технологическая устойчивость электроэнергетики Республики Беларусь
- Надежность линий электропередач Нижневолжского региона
- Эффективность тонкопленочной изоляции тепловых сетей
- Безопасная схема регулирования теплоснабжения жилых зданий



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

## 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)

## ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

В. И. БЕЛЯЕВ — к. т. н., заместитель генерального директора АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (Москва, Россия)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Н. ВИВЧАР — к. г. н., заместитель директора — директор Департамента по внешним связям и стратегическому развитию Ассоциации «Совет производителей энергии» (Москва, Россия)

Н. И. ВОРОПАЙ — чл.-корр. РАН, д. т. н., профессор, научный руководитель ФГБОУН «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) (Иркутск, 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, заведующий отделением технологий использования топлив и экологии энергетики 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 (Белоруссия) — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета (г. Минск)

С. А. КРОПАЧЕВ — д. и. н., доцент, Генеральный директор АНО «Центр переподготовки и повышения квалификации кадров» (Краснодар, 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 Некоммерческого 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 РАЕН, д. э. н., профессор, к. т. н. (Санкт-Петербург, Россия)

В. М. НЕУМИН — к. т. н., главный специалист по энергетике 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)

В. СТРЕЛКОВСКИЙ — доктор философии, научный сотрудник Кембриджской бизнес-школы Кембриджского университета (Англия)

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, директор Департамента по связям с общественностью Топливной компании Росатома «ТВЭЛ» (Москва, Россия)

Л. А. ХОМЕНКО — д. т. н., профессор, заместитель генерального директора по научной работе — заведующий отделением турбинных установок Научно-производственного объединения по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (ЦКТИ) (Санкт-Петербург, Россия)

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)

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)

В. И. ШАРАПОВ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Теплоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет» (Ульяновск, 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», E45024 — Интернет-каталог «Книга-сервис».

Художественный редактор: — Маланин Д.Б.

Технический редактор — Тараскина И.В.

Подписано в печать 30.06.2017 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](http://www.sigma08.ru)

© ООО «НПО «Энергобезопасность», «Надежность и безопасность энергетики»



## 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)

## EXECUTIVE EDITOR

**Valeriy I. BELYAEV** — Cand. of Tech. Sc., Deputy Director General, JSC «Simulators of power plants and networks» (Moscow, Russia)

## EDITORIAL BOARD

**Anton N. VIVCHAR** — Cand. of Geogr. Sc., Deputy Director/ Director of the Department of External Relations and Strategic Development of the Association «Council of Power Producers and Power Industry Strategic Investor» (Moscow, Russia)

**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)

**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. ZROICHKOV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, «G. M. Krzhi-zhanovsky 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 His. Sc., Director General, «Center for Retraining and Advanced Training» (Krasnodar, 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. PCHELIN** — 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)

**Wadim STRIELKOWSKI** — Ph.D., University of Cambridge, Judge Business School (Cambridge, England)

**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., Director of the PR Department, «TVEL, the fuel company of Rosatom» (Moscow, Russia)

**Leonid A. KHOMENOK** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Deputy Director General of Research/Head of the Department of turbine installations, I. I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment (St. Petersburg, Russia)

**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)

**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)

**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)

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

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

The magazine is included into the SCADT's List of major reviewed scientific magazines 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 magazine is associated with the UNESCO International Center of Training Systems and the UNESCO International Chair Network «TVET».

Artistic editor: Malanin D. B. Technical Editor: Taraskina I. V. Signed in the press on June 30, 2017. Printed in LLC Paritet.

Mailing address of the editorial office: NPO «Energobezопасnost» Build. 6, 125 «Zh» Varshavskoye Shosse, Moscow, 117587.  
Tel: +7 495 665-76-00, tel./fax: +7 495 382-79-74; e-mail: sigma08@sigma08.ru; [www.sigma08.ru](http://www.sigma08.ru)

# VI Международная конференция «Золошлаки ТЭС – удаление, транспорт, переработка, складирование»

Официальные языки конференции: русский и английский • К открытию конференции будет издан специальный выпуск журнала, входящего в перечень ВАК • Материалы конференции также будут размещены в РИНЦ • Во время проведения мероприятия будет обеспечен синхронный перевод презентаций докладов и дискуссий.

**19–20 апреля  
2018 года,  
г. Москва**

## Тематика проведения конференции:

- влияние тенденций изменения природоохранного законодательства на проблему обращения с золошлаками энергетики;
- влияние Справочников по внедрению НДТ в энергетику России и стран мирового сообщества на решение проблемы обращения с золошлаками;
- практика и проблемы внедрения НДТ мирового уровня в системы обращения с золошлаками;
- объемы образования и направления полезного применения золошлаков энергетики;
- потребительские свойства и сертификация золошлаков;
- влияние технологий подготовки и сжигания твердых органических топлив на потребительские свойства золошлаков и эколого-экономические показатели работы ТЭС в целом;
- влияние технологий очистки уходящих газов от оксидов азота и серы на потребительские свойства золошлаков;
- влияние технологий золоулавливания и удаления золы от золоуловителей на потребительские свойства золошлаков;
- использование золошлаков в строительной отрасли;
- использование золошлаков в сельском хозяйстве;
- применение золошлаков энергетики на предприятиях других отраслей;
- малотоннажные высокотехнологичные производства по переработке золошлаков;
- перспективные системы обращения с золошлаками энергетики на электростанциях;
- повышение квалификации и переподготовка специалистов в области обращения с золошлаками энергетики.

## Приглашаем Вас и сотрудников Вашей организации принять участие в работе конференции!

**Целевая аудитория:** представители федеральных и региональных органов исполнительной и законодательной власти, энергетических компаний, угольных электростанций, предприятий по системам обращения с золошлаками и их переработке, профильных ВУЗов, научно-исследовательских институтов и специализированных организаций.

**Планируемое количество участников:** 100 человек.

**Адрес Оргкомитета:** Москва, ул. Красноказарменная, д.14, корпус Ж, ауд. Ж-105, Ж-107.

**По вопросу участия в мероприятии обращаться по телефону:** +7 495-362-7912.

**Электронная почта:** MalikovaEA@ecopower.ru, ZhivohinaAA@ecopower.ru

**Страница конференции** - <http://www.ecopower.ru/index.php?newsid=137>



## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Черезов А. В., Грабчак Е. П.</b> Проблемы и перспективы развития производства газотурбинных установок высокой мощности в Российской Федерации .....                     | 92  |
| <b>Непомнящий В. А.</b> Статическая устойчивость в задачах надежности .....  | 98  |
| <b>Гибадуллин А. А.</b> Анализ технико-технологической устойчивости электроэнергетической отрасли Республики Беларусь .....  | 106 |
| <b>Султанов М. М., Труханов В. М., Кухтик М. П., Анохина Е. П.</b> Оценка показателей надежности линий электропередач Нижневолжского региона .....                         | 113 |
| <b>Медведева М. Л., Кузьмин С. В., Кузьмин И. С., Шманев В. Д.</b> Анализ и прогноз аварийности распределительных сетей и электроприемников 6–10 кВ в горной отрасли ..... | 120 |

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Урьев Е. В., Жуков С. В., Кистойчев А. В., Биялт М. А., Бочкарев Е. В., Кшесинский Д. С.</b> О крутильных колебаниях валопроводов мощных паротурбинных агрегатов в условиях эксплуатации .....             | 126 |
| <b>Моркин М. С., Лемехов В. В., Черепнин Ю. С., Мазурин И. М., Сухих А. А.</b> Обзор результатов и методов комплексного исследования рабочих веществ фторорганического состава энергетических установок ..... | 135 |
| <b>Закирова И. А., Чичирова Н. Д.</b> Экспериментальное определение эффективности тепловой изоляции тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий .....  | 143 |
| <b>Самарин О. Д.</b> Надежная и безопасная схема регулирования теплоснабжения жилых зданий .....  | 150 |

### ДИСКУССИИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Шарапов В. И.</b> Оценка экономичности, экологического совершенства и надежности каталитических теплогенераторов ..... | 154 |
| <b>Куличихин В. В.</b> Опыт эксплуатации детандер-генераторных агрегатов на ТЭЦ Мосэнерго. Исторический обзор .....       | 159 |

### ЮБИЛЕИ .....

### ХРОНИКА, ПУБЛИКАЦИИ .....

### СВОЕВРЕМЕННЫЕ АФОРИЗМЫ .....

## CONTENTS

### GENERAL ISSUES OF RELIABILITY AND SAFETY OF ENERGY

|   |     |
|---|-----|
| <b>Cherezov A. V., Grabchak E. P.</b> Problems and prospects for development of manufacture of highcapacity gas turbine plants in the Russian Federation .....                        | 92  |
| <b>Nepomnyashchiy V. A.</b> Static stability in reliability problems .....  | 98  |
| <b>Gibadullin A. A.</b> Analysis of technical and technological stability of the electric power industry of the Republic of Belarus .....   | 106 |
| <b>Sultanov M. M., Trukhanov V. M., Kuhtik M. P., Anohina K. P.</b> Estimation of indicators of reliability of power transmission lines in the Lower Volga region .....               | 113 |
| <b>Medvedeva M. L., Kuzmin S. V., Kuzmin I. S., Shmanev V. D.</b> Analysis and forecast of accident rate of 6–10 kV distribution grids and power consumers in the mining sector ..... | 120 |

### DESIGN, RESEARCH, CALCULATIONS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ur'ev E. V., Zhukov S. V., Kistoychev A. V., Biyalt M. A., Bochkarev E. V., Kshesinsky D. S.</b> On torsional oscillations of shaft trains of powerful steam turbine units under operating conditions .....       | 126 |
| <b>Morkin M. S., Lemekhov V. V., Tcherepnin Y. S., Mazurin I. M., Sukhikh A. A.</b> Review of results and methods of comprehensive research of working substances of fluoroorganic composition of power plants ..... | 135 |
| <b>Zakirova I. A., Chichirova N. D.</b> Experimental determination of effectiveness of thermal insulation of heating networks involving application of thin-film coatings .....                                      | 143 |
| <b>Samarin O. D.</b> Reliable and safe arrangement for regulation of heat supply of residential buildings .....  | 150 |

### DISCUSSIONS, PROBLEMS, OPINIONS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Sharapov V. I.</b> Estimation of economic efficiency, environmental efficiency and reliability of catalytic heat generators ..... | 154 |
| <b>Kulichikhin V. V.</b> Practice of operation of expander-generator units at Mosenergo CHPPs. Historical overview .....             | 159 |

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.1.18

# Проблемы и перспективы развития производства газотурбинных установок высокой мощности в Российской Федерации

**Черезов А. В., Грабчак Е. П.**

Министерство энергетики Российской Федерации  
ул. Щепкина, д. 42, стр.1, 107996, ГСП-6, г. Москва, Россия

Поступила / Received 25.01.2017

Принята к печати / Accepted for publication 17.04.2017

Задачи обеспечения надежного и бесперебойного снабжения электроэнергией потребителей, промышленной и экологической безопасности, возможности мониторинга состояния энергетического оборудования, прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций с учетом сложившейся ситуации в энергетике становятся приоритетными направлениями развития ее производственного комплекса. Изменение внешней политической и экономической ситуации на мировой арене существенным образом изменило конъюнктуру рынка производителей энергетического оборудования, формирует новые вызовы энергомашиностроению России.

Решение задачи инновационного развития российского энергомашиностроения обладает своими особенностями. Во-первых, в Российской Федерации на объектах электроэнергетики используется, в основном, оборудование иностранного производства, закупленное ранее, и не требующее замены в связи с истечением его эксплуатационных сроков. Во-вторых, оборудование иностранного производства обладает улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками, простотой использования, возможностью его сервисного обслуживания с гарантированной поставкой запасных частей, наличием легко интегрируемых комплементарных благ, таких, как программное обеспечение для управления промышленной установкой, дополнительные системы промышленной безопасности и другие. В-третьих, производство и сборка иностранного оборудования локализованы, в основном, в местах наибольшего спроса, что дает дополнительное преимущество иностранным производителям для его поставки и последующего обслуживания. В-четвертых, продажа и поддержка оборудования иностранного производства осуществляется хорошо организованной дилерской сетью. В-пятых, надо отметить высокую степень организации технологических процессов разработки, внедрения и производства иностранного оборудования.

На основе учета названных особенностей сформирована структура потребностей энергетики в газовых турбинах большой мощности и обосновывается перспектива развития энергомашиностроения в этой области, показаны потребности и обоснованы номиналы мощностей газовых турбин для формирования заказа машиностроительным заводам. Ретроспективный анализ турбиностроения в России позволяет определить перспективу его развития. Для успешного развития турбиностроения в России необходимо создание промышленной и организационной инфраструктуры. Выводы, сделанные в результате анализа проблемы, имеют практическое назначение и формируют инновационный путь развития тяжелого энергомашиностроения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** газовые турбины большой мощности, инновационный путь развития, энергетическая безопасность, импортозамещение, потребности генерирующих компаний, организационная инфраструктура.

### Адрес для переписки:

Грабчак Е. П.  
Министерство энергетики Российской Федерации  
ул. Щепкина, д.42, стр.1, 107996, ГСП-6, г. Москва, Россия  
e-mail: GrabchakEP@minenergo.gov.ru

### Address for correspondence:

Grabchak E. P.  
Ministry of Energy of Russia  
Schepkina street, 42/1, GSP-6, 107996, Moscow, Russia  
e-mail: GrabchakEP@minenergo.gov.ru

### Для цитирования:

Черезов А. В., Грабчак Е. П. Проблемы и перспективы развития производства газотурбинных установок высокой мощности в Российской Федерации. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – С. 92 – 97.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-92-97

### For citation:

Cherezov A. V., Grabchak E. P. [Problems and prospects for development of manufacture of high-capacity gas turbine plants in the Russian Federation]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 92 – 97 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-92-97



## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК: 621.311.1, 51.74

### Статическая устойчивость в задачах надежности

**Непомнящий В. А.**

Липовский проезд, 3а, кв.15, 188541, г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

Поступила / Received 17.01.2017

Принята к печати / Accepted for publication 06.03.2017

Рассматривается возможность применения в задачах надежности оценки статической устойчивости энергосистем при аварийных отключениях магистральных ЛЭП корректного в математическом отношении критерия перехода через ноль якобиана системы уравнений послеаварийного режима.

При использовании широко распространенного классического метода последовательного утяжеления режима в определенном направлении задача формирования расчетных сечений для оценки статической устойчивости не имеет однозначного решения, а значит, и однозначного результата. При этом может оказаться, что при различных составах сечений одни и те же возмущения (отключения ЛЭП или погашения узлов схемы) могут вызывать или не вызывать нарушения статической устойчивости энергосистемы. При этом на зону неопределенности результатов существенное влияние будет оказывать выбранная траектория утяжеления.

Поэтому для повышения стабильности результатов расчетов статической устойчивости энергосистемы предлагаются другие принципы определения ее статической устойчивости, обладающие однозначностью получаемых решений.

Проведенный анализ позволил сделать два важных вывода, меняющих современные принципы управления статической устойчивостью:

- с увеличением потока мощности по некоторому неоднородному сечению предел статической устойчивости энергосистемы наступает при достижении угла передачи мощности значения  $90^\circ$  по ЛЭП с наибольшим относительным реактансом (модель «слабейшего звена»);

- при достижении предела статической устойчивости системы по критерию перемены знака якобиана в сети обязательно найдется хотя одна ЛЭП с максимальным углом передачи, которая обязательно входит в состав наиболее опасного сечения независимо от его структуры.

Поэтому вместо выявления и контроля «опасных сечений» предлагается вычислять и контролировать поток мощности по ЛЭП с наибольшим углом передачи.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** статическая устойчивость, опасное сечение, якобиан, угол передачи мощности.

## Static stability in reliability problems

**Nepomnyashchiy V. A.**

Lipovskiy proezd, 3a, fl.15, 188541, Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

The possibility is considered of applying a mathematically correct criterion of zero transition of the Jacobian of sets of equations in post-emergency conditions in problems of reliability of estimation of static stability of energy systems in case of emergency shutdowns of main power transmission lines.

With a common classical method of successive loading in a certain direction used, the problem of generation of estimated cross-sections for estimating the static stability has no unambiguous solution, and accordingly has no unambiguous result. In this case, it may turn out that for different cross-sectional setups, the same disturbances (disconnections of power transmission lines, or blackouts of the circuit nodes) may or may not cause a disruption of static stability of the energy

#### Адрес для переписки:

Непомнящий В. А.

Липовский проезд, 3а, кв.15, 188541, г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

e-mail: nva.sbor@mail.ru

#### Address for correspondence:

Nepomnyashchiy V. A.

Lipovskiy proezd, 3a, fl.15, 188541, Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

e-mail: nva.sbor@mail.ru

#### Для цитирования:

Непомнящий В. А. Статическая устойчивость в задачах надежности. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – С. 98 – 105.

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-98-105

#### For citation:

Nepomnyashchiy V. A. [Static stability in reliability problems]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 98 – 105 (in Russian).

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-98-105

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.316.542.027:622.012

### Анализ и прогноз аварийности распределительных сетей и электроприемников 6–10 кВ в горной отрасли

Медведева М. Л.<sup>1</sup>, Кузьмин С. В.<sup>2</sup>, Кузьмин И. С.<sup>2</sup>, Шманев В. Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Экспертный центр технологических решений»  
а/я 12, 620146, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ООО «Научно-производственное предприятие «Рутас»  
Российская федерация, г. Красноярск, 660025, ул. Академика Вавилова, дом 72, офис 10.

Поступила / Received 15.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 15.03.2017

Рассмотрены основные виды аварий в системах электроснабжения 6–10 кВ горных предприятий, такие, как короткие замыкания, однофазные замыкания на землю, обрыв фаз, и установлены их процентные соотношения.

Горные предприятия разбиты на три группы: предприятия по добыче полезных ископаемых открытым способом (карьеры и угольные разрезы); предприятия по добыче полезных ископаемых подземным способом (шахты и рудники); горно-перерабатывающие предприятия (обогачительные фабрики, глинозёмные комбинаты, предприятия по производству удобрений).

Анализ аварийности систем электроснабжения горных предприятий, выполненный за период с 1995 по 2015 годы, позволил проследить динамику вышеуказанных видов аварий и определить их основной вид — однофазное замыкание на землю. В указанный период в системах электроснабжения 6–10 кВ карьеров и угольных разрезов, шахт и рудников, а также горно-перерабатывающих предприятий доля однофазных замыканий на землю соответственно находилась в следующих диапазонах: 65–76%; 60–69%; 58–67%. Наибольший рост аварийности за рассматриваемый период наблюдался в системах электроснабжения 6–10 кВ угольных разрезов и карьеров; общая аварийность с 1995 по 2015 год возросла в 3,21 раза. Данный показатель для шахт и рудников, а также горно-перерабатывающих предприятий составил 2,06 и 2,72 раза соответственно.

Показаны изменения отдельных видов аварий и общей аварийности в системах электроснабжения карьеров и разрезов, шахт и рудников и горно-перерабатывающих предприятий. Установлено, что в системах электроснабжения 6–10 кВ указанных горных предприятий изменения однофазных замыканий на землю и общая аварийность описываются линейными уравнениями.

На основании установленных закономерностей сделан прогноз изменения аварийности в системах электроснабжения рассматриваемых горных предприятий до 2020–2025 гг.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** горные предприятия, карьеры, разрезы, шахты, рудники, обогачительные фабрики, глинозёмные комбинаты, система электроснабжения 6–10 кВ, аварийность, однофазные замыкания на землю, коммутационные перенапряжения, обрыв фаз, прогноз аварийности, основной вид аварии, ограничение внутренних перенапряжений, контроль изоляции, селективность защит.

#### Адрес для переписки:

Медведева М. Л.  
ООО «Экспертный центр технологических решений»  
а/я 12, 620146, г. Екатеринбург, Россия  
e-mail: medvedeva@exctr.ru

#### Address for correspondence:

Medvedeva M.L.  
LLC «Expert Center for Technology Solutions»,  
PO Box 12, 620146, Ekaterinburg, Russia  
e-mail: medvedeva@exctr.ru

#### Для цитирования:

Медведева М. Л., Кузьмин С. В., Кузьмин И. С., Шманев В. Д.  
Анализ и прогноз аварийности распределительных сетей и электроприемников 6–10 кВ в горной отрасли. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – С. 120 – 125.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-120-125

#### For citation:

Medvedeva M. L., Kuzmin S. V., Kuzmin I. S., Shmanev V. D.  
[Analysis and forecast of accident rate of 6–10 kV distribution grids and power consumers in the mining sector]. Na-dezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 120–125 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-120-125



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.165

# О крутильных колебаниях валопроводов мощных паротурбинных агрегатов в условиях эксплуатации

Урьев Е. В.<sup>1</sup>, Жуков С. В.<sup>2</sup>, Кистойчев А. В.<sup>3</sup>, Биялт М. А.<sup>1</sup>, Бочкарев Е. В.<sup>3</sup>, Кшесинский Д. С.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ООО «НПП «Уральская лаборатория вибрации», ул. Радищева, д. 6а, пом. 3, 620014, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ПАО «Т Плюс», просп. Ленина, 38, 620219, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»  
ул. Мира, д. 19, 620002, г. Екатеринбург, Россия

<sup>4</sup> АО «Уральский турбинный завод», ул. Фронтových Бригад, д. 18, 620017, Екатеринбург, Россия

Поступила / Received 31.01.2017

Принята к печати / Accepted for publication 09.03.2017

Рассматривается проблема массовой повреждаемости роторов низкого давления теплофикационных турбин типа Т-175 и ПТ-135. Сопоставляются гипотезы трещинообразования в низкотемпературных роторах паровых турбин под воздействием изгибных и крутильных колебаний. На основании проведенного анализа различных факторов, в т. ч. конструктивного и эксплуатационного характера, показано, что имеется целый ряд предпосылок, которые делают вторую из рассмотренных гипотез несколько более предпочтительной. Однако оценить воздействия крутильных колебаний можно только на основе результатов экспериментальных исследований динамических напряжений в роторах на реальных турбоагрегатах в условиях эксплуатации.

Это потребовало разработать и создать систему многоканального контроля и мониторинга крутильных колебаний валопровода турбоагрегатов, опытно-промышленный вариант которой был реализован на турбоагрегате Т-175/210-130. На основании проведенных расчетных исследований и анализа причин возникновения как собственных, так и вынужденных крутильных колебаний валопровода были сформулированы требования, которые должны предъявляться к регистрации параметров крутильных колебаний и, что особенно важно, к алгоритмам и программным средствам обработки данных и представлению результатов.

Показано, что в большинстве опубликованных исследований приводятся только собственные крутильные колебания валопроводов. Проанализированы типичные ошибки и показано, что вынужденные колебания, которые кратны частоте вращения при используемых алгоритмах обработки данных не могли быть получены, а сделанные на основе таких исследований выводы неправомерны.

Кроме того, в большинстве случаев применение исходных данных без необходимой предварительной корректировки до использования их в преобразовании Фурье могут привести к существенному искажению результатов анализа.

Предложенные методы измерения, подготовки и обработки данных позволили осуществлять регистрацию как собственных, так и вынужденных крутильных колебаний валопровода. Приводятся результаты исследований, которые показали, что в валопроводе реализуются преимущественно вынужденные крутильные колебания, кратные частоте вращения. Сформулированы дальнейшие пути совершенствования созданной системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** турбины, трещинообразование в низкотемпературных роторах, крутильные колебания валопровода, собственные и вынужденные колебания, система мониторинга крутильных колебаний.

### Адрес для переписки:

Урьев Е. В.

ООО «НПП «Уральская лаборатория вибрации»

ул. Радищева, д. 6а, пом. 3, 620014, г. Екатеринбург,  
Россия

e-mail: evuriev@gmail.com

### Address for correspondence:

Ur'ev E. V.

«SPE «Ural Vibration Lab» LLC

Radishcheva str., 6a, of. 3, 620014, Ekaterinburg, Russia

e-mail: evuriev@gmail.com

### For citation:

Ur'ev E. V., Zhukov S. V., Kistoychev A. V., Biyal't M. A., Bochkarev E. V., Kshesinsky D. S. [On torsional oscillations of shaft trains of powerful steam turbine units under operating conditions]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 126–134 (in Russian). DOI: 0.24223/1999-5555-2017-10-2-126-134

### Для цитирования:

Урьев Е. В., Жуков С. В., Кистойчев А. В., Биялт М. А., Бочкарев Е. В., Кшесинский Д. С. О крутильных колебаниях валопроводов мощных паротурбинных агрегатов в условиях эксплуатации. *Надежность и безопасность энергетики*. 2017. – Т. 10, №2. – С. 126–134.

DOI: 0.24223/1999-5555-2017-10-2-126-134

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.039.534.36 + 621.039.531

# Обзор результатов и методов комплексного исследования рабочих веществ фторорганического состава энергетических установок

Моркин М. С.<sup>1</sup>, Лемехов В. В.<sup>1</sup>, Черепнин Ю. С.<sup>1</sup>, Мазурин И. М.<sup>2</sup>, Сухих А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А. Доллежала»  
Малая Красносельская ул., 2/8, 101000 г. Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Красноказарменная ул., 14, 111250, г. Москва, Россия

Поступила / Received 20.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 19.01.2017

Фторуглеродные вещества наиболее широко применяются в качестве диэлектрических жидкостей в технологиях микроэлектроники, пожаротушающих средств, теплоносителей и рабочих веществ холодильной и теплонасосной техники.

В данной статье рассмотрены предпосылки для использования фторуглеродных рабочих тел (ФРТ) в качестве рабочего тела (вместо воды) в турбинных циклах преобразования тепловой энергии в электрическую для вновь разрабатываемых перспективных АЭС. Анализируются результаты и способы исследований физических и химических свойств ФРТ в диапазоне параметров работы энергоустановок (в области температур до 550°C), а также их радиационной стойкости. Показано, что достаточно простым и эффективным методом анализа состояния ФРТ является использование масс-спектрометров отечественного производства с регулируемой энергией ионизации. Дана информация о результатах, опубликованных в доступных литературных источниках, а также о результатах собственных исследований термической стойкости, теплофизических свойств, процессов и конфигурации термодинамических циклов для веществ фторорганического состава. Установлено, что при наличии таких известных достоинств и преимуществ ФРТ, как нетоксичность, негорючесть, термическая стойкость, благоприятные термодинамические свойства и т. д., некоторые химические элементы (кремний и титан) в составе конструкционных материалов в условиях высоких температур могут являться «катализаторами» термического разложения.

Сделан вывод о том, что на основе накопленной информации может быть сформирована база данных, необходимых для проектирования установок на ФРТ, и достигнут ряд технологических и экологических преимуществ при их внедрении в теплосиловой контур реакторных установок с жидким металлическим теплоносителем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** фторуглеродное рабочее тело, реактор на быстрых нейтронах, масс-спектрометр, примеси, контроль состава.

### Адрес для переписки:

Сухих А. А.  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Красноказарменная ул., 14, 111250, г. Москва, Россия  
e-mail: SukhikhAndrey@mail.ru

### Address for correspondence:

Sukhikh A. A.  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»  
Krasnokazarmennaya str., 14, 111250, Moscow, Russia  
e-mail: SukhikhAndrey@mail.ru

### Для цитирования:

Моркин М. С., Лемехов В. В., Черепнин Ю. С., Мазурин И. М., Сухих А. А. Обзор результатов и методов комплексного исследования рабочих веществ фторорганического состава энергетических установок. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – с. 135 – 142. DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-135-142

### For citation:

Morkin M. S., Lemekhov V. V., Tcherepnin Y. S. Mazurin I. M., Sukhikh A. A. [Review of results and methods of comprehensive research of working substances of fluoroorganic composition of power plants]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 135 – 142 (in Russian). DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-135-142



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 658.264:621.184.76

# Экспериментальное определение эффективности тепловой изоляции тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий

**Закирова И. А., Чичирова Н. Д.**

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

Поступила / Received 09.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 03.02.2017

Целью данной работы является экспериментальная оценка теплофизических характеристик в теплоизоляционной конструкции с нанесенным тонкопленочным покрытием, таких, как кондуктивная теплопроводность, излучение и конвекция, оценка степени влияния каждой составляющей на снижение плотности теплового потока. Проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента теплопроводности, интегрального коэффициента излучения и воздухопроницаемости теплоизоляционной конструкции. Исследование теплопроводности теплоизоляционной конструкции с тонкопленочным покрытием проводилось с использованием методики стационарного теплового потока, проходящего через исследуемый образец теплоизоляционной конструкции. Исследование теплового излучения теплоизоляционной конструкции с тонкопленочным покрытием заключалось в определении интегрального коэффициента излучения радиационным методом. Воздухопроницаемость теплоизоляционной конструкции с нанесенным тонкопленочным покрытием определялась методом, в основе которого лежит установление времени прохождения определенного объема воздуха через исследуемый образец при известном давлении воздуха. Представлены результаты влияния тонкопленочного покрытия в конструкции тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей на снижение потерь тепла за счет уменьшения плотности тепловых потоков. Установлено, что наибольшее влияние на снижение плотности тепловых потоков оказывает воздухопроницаемость теплоизоляционного материала после нанесения на его поверхность тонкопленочного покрытия, что в целом обеспечивает повышение эффективности и надежности теплоизоляционных конструкций трубопроводов в системах теплоснабжения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** энергосбережение, тепловые сети, тепловые потери, теплоизоляция, тонкопленочные покрытия, тепловые потоки

## Experimental determination of effectiveness of thermal insulation of heating networks involving application of thin-film coatings

**Zakirova I. A., Chichirova N. D.**

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

The purpose of the paper is experimental evaluation of thermal characteristics in a heat insulating structure with a thin film coating applied onto the same, such as conductive heat transmission capacity, radiation and convection, assessment of the extent of influence of each component on reducing heat flux density. Experimental studies have

### Адрес для переписки:

Закирова И. А.  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия  
e-mail: ilmira-07@mail.ru

### Address for correspondence:

Zakirova I. A.  
Kazan State Power Engineering University  
str. Krasnoselskaya, 51, 420066, Kazan, Russia  
e-mail: ilmira-07@mail.ru

### Для цитирования:

Закирова И.А., Чичирова Н.Д. Экспериментальное определение эффективности тепловой изоляции тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – С. 143–149.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-143-149

### For citation:

Zakirova I. A., Chichirova N. D. [Experimental determination of effectiveness of thermal insulation of heating networks involving application of thin-film coatings]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 143–149 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-143-149

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 697.1:699.86

# Надежная и безопасная схема регулирования теплоснабжения жилых зданий

**Самарин О. Д.**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
Ярославское ш., 26, 129337, Москва, Россия

Поступила / Received 05.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 28.12.2016

Рассмотрена простейшая схема теплоснабжения жилых зданий с зависимым присоединением к наружным теплосетям, обеспечивающая надежность теплоподдачи и необходимую комфортность в помещениях за счет подмешивания части воды из обратной магистрали теплосети при наружной температуре, превышающей точку излома температурного графика. Проанализированы основные уравнения, описывающие зависимость температуры воды в магистралях от температуры наружного воздуха и осуществлен обзор возможных способов регулирования теплоподдачи и предотвращения «перетоков» вблизи начала и конца отопительного периода с учетом требований действующих нормативных документов Российской Федерации. Проведены расчеты, позволяющие определить требуемый коэффициент подмешивания в условиях применения схемы присоединения зданий к теплосети с использованием смесительного насоса на основе линеаризации уравнения температурного графика в теплосети в малой окрестности точки излома данного графика. Дан анализ полученных результатов и сделаны выводы относительно целесообразности применения рассматриваемой схемы. Установлено, что величина текущей безразмерной разности температур внутреннего и наружного воздуха в точке излома не зависит от климатических параметров района строительства, а требуемый коэффициент подмешивания практически прямо пропорционален превышению наружной температуры по сравнению с температурой в точке излома температурного графика. Показано, что значение коэффициента подмешивания тем больше, чем выше расчетная температура воды в обратной магистрали тепловой сети в точке излома. Предложены рекомендации по совместному использованию элеватора и смесительного насоса с целью минимизации изменений при реконструкции теплового ввода для устранения «перетоков».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоподдача, теплопотери, температура, точка излома, линеаризация, коэффициент подмешивания, надежность теплоснабжения, безопасность жизнедеятельности.

## Reliable and safe arrangement for regulation of heat supply of residential buildings

**Samarin O. D.**

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)  
Yaroslavskoye Highway, 26, 129337, Moscow, Russia

An elementary arrangement is considered for heat supply of residential buildings with dependent connection to external heating systems, providing reliable heat delivery and required comfort indoors due to admixing of water from the heating system return line at an outdoor temperature exceeding the breakpoint temperature. Basic equations are analyzed describing

### Адрес для переписки:

Самарин О. Д.  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Ярославское ш., 26, 129337, Москва, Россия  
e-mail: samarin-oleg@mail.ru

### Address for correspondence:

Samarin O. D.  
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),  
Yaroslavskoye Highway, 26, 129337, Moscow, Russia  
e-mail: samarin-oleg@mail.ru

### Для цитирования:

Самарин О. Д. Надежная и безопасная схема регулирования теплоснабжения жилых зданий. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – с. 150 – 153.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-150-153

### For citation:

Samarin O. D. [Reliable and safe arrangement for regulation of heat supply of residential buildings]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 150 – 153 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-150-153



## ДИССКУССИИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ

УДК 697.1

# Оценка экономичности, экологического совершенства и надежности каталитических теплогенераторов

**Шарапов В. И.**

ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»  
ул. Северный Венец, 32, 432027, г. Ульяновск, Россия

Поступила / Received 27.10.2016

Принята к печати / Accepted for publication 09.03.2017

Проанализированы утверждения разработчиков и производителей каталитических теплогенераторов о существенных преимуществах этих аппаратов по сравнению с котлами с традиционными способами сжигания топлива: о значительном повышении коэффициента полезного действия каталитических котлов, повышении экологической безопасности этих котлов благодаря понижению температуры топочных процессов и уменьшению образования термических оксидов азота в продуктах сгорания, возможности значительного снижения габаритов каталитических котлов благодаря повышению теплонапряженности поверхностей нагрева в топке, а также о повышенной надежности каталитических теплогенераторов. Показано, что эти утверждения бездоказательны и противоречат фундаментальным законам термодинамики, физики и химии. Приведены результаты проведенных авторами каталитических котлов экспериментальных исследований. Рассмотрены утверждения создателей каталитических котлов о повышении экономичности теплогенераторов за счет увеличения теплоты сгорания топлива при многостадийном каталитическом сжигании топлива. Теоретически доказана невозможность увеличения теплоты сгорания топлива при каталитическом сжигании, поскольку это предположение разработчиков каталитических котлов противоречит закону Гесса, закону постоянства сумм теплот сгорания, а также законам Лавуазье и Лапласа. Показана несостоятельность утверждения В. Н. Пармона о возможности повышения КПД каталитического теплогенератора в 3–4 раза по сравнению с обычными котлами. Отмечено, что, исходя из теплового баланса котла, его тепловая экономичность определяется не способом генерации теплоты, а, прежде всего, уровнем охлаждения продуктов сгорания топлива. Показано непреодолимое теоретическое противоречие утверждений создателей каталитических котлов о возможностях низкотемпературного каталитического сжигания топлива и одновременного повышения теплонапряженности топки и снижения размеров котла. Отмечено, что, согласно закону Стефана-Больцмана, интенсивность лучистого теплообмена в топке пропорциональна абсолютной температуре продуктов сгорания в четвертой степени. Следовательно, чтобы обеспечить необходимую интенсивность теплообмена в каталитических теплогенераторах температура продуктов сгорания должна быть не меньше, чем в традиционных котлах, а в котлах с повышенной теплонапряженностью топки — еще выше. Из этого следует, что декларируемая авторами и производителями каталитических котлов возможность повышения экологической безопасности этих котлов путем снижения образования термических оксидов азота не имеет какого-либо теоретического обоснования и, тем более, практического подтверждения. Рассмотрены причины низкой надежности каталитических теплогенераторов. Приведен пример работы каталитических теплогенераторов в г. Ульяновске, показавший их крайне низкую надежность. Сделан вывод о нецелесообразности применения имеющихся конструкций каталитических котлов в отечественной теплоэнергетике.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** каталитические теплогенераторы, надежность, тепловая экономичность, экологическая безопасность, целесообразность применения.

### Адрес для переписки:

Шарапов В. И.  
ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»  
ул. Северный Венец, 32, 432027, г. Ульяновск, Россия  
e-mail: vlad-sharapov2008@yandex.ru

### Address for correspondence:

Sharapov V. I.  
Ulyanovsk State Technical University,  
Severnoy Venets str., 32, 432027, Ulyanovsk, Russia  
e-mail: vlad-sharapov2008@yandex.ru

### Для цитирования:

Шарапов В. И. Оценка экономичности, экологического совершенства и надежности каталитических теплогенераторов. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, № 2. – С. 154–158.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-154-158

### For citation:

Sharapov V. I. [Estimation of economic efficiency, environmental efficiency and reliability of catalytic heat generators]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 154–158 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-154-158

## ДИССКУССИИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ

УДК 621.1.018.4

# Опыт эксплуатации детандер-генераторных агрегатов на ТЭЦ Мосэнерго. Исторический обзор

**Куличихин В. В.**

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»  
Красноказарменная ул., 14, 111250, г. Москва, Россия

Поступила / Received 21.02.2017

Принята к печати / Accepted for publication 01.03.2017

В европейских странах на некоторых объектах нашла определенное применение детандерная технология, которая заключается в производстве электроэнергии и/или холода с помощью так называемых детандер-генераторных агрегатов (ДГА). Эти агрегаты предназначены для использования избыточного давления природного газа (ПГ), поступающего на объект. Например, в Германии работает некоторое количество таких установок небольшой мощности, порядка нескольких сотен киловатт каждая. При этом выгода для их владельцев заключается в получении установленных законом ФРГ надбавок к стоимости отпущенной потребителям электроэнергии, выработанной в ДГА.

В России интерес к подобным установкам возник после сооружения на ТЭЦ-21 Мосэнерго в 1994 году энергокомплекса, состоявшего из двух ДГА каждый мощностью 5 МВт.

В последующие годы после его ввода в эксплуатацию различными авторами были проведены исследования (в основном расчетного типа) влияния ДГА на технико-экономические показатели объектов, на которых они могут быть установлены, в том числе на ТЭС и ТЭЦ, в котельных, системах газоснабжения, отдельно и в комбинации с тепловыми насосами, с воздушными компрессорами, турбинами и т. д. Полученные результаты были опубликованы в большом количестве статей и защищены в диссертациях. Однако все же наибольший интерес для энергетиков представляет обобщение результатов исследований и опыта эксплуатации ДГА именно на ТЭЦ-21 Мосэнерго, на которой были установлены головные образцы этого оборудования. Для этого потребовалось выполнить представленный в данной статье обзор публикаций, подготовленных различными авторами в разные годы и разбросанных по различным энергетическим журналам. Обобщение результатов испытаний и опыта эксплуатации свидетельствует об отсутствии влияния внедрения ДГА в тепловую схему ТЭЦ на ее тепловую экономичность и о бесперспективности использования ДГА в российской энергетике, что подтверждается отказом от дальнейшей эксплуатации ДГА в системе Мосэнерго.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** природный газ, детандер-генераторный агрегат, эффективность, исследования, опыт эксплуатации.

### Адрес для переписки:

Куличихин В. В.  
Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,  
Красноказарменная ул., 14, 111250, г. Москва, Россия  
e-mail: KulichikhinVV@mpei.ru

### Address for correspondence:

Kulichikhin V. V.  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,  
Krasnokazarmennaya str., 14, 111250, Moscow, Russia  
e-mail: KulichikhinVV@mpei.ru

### Для цитирования:

Куличихин В. В. Опыт эксплуатации детандер-генераторных агрегатов на ТЭЦ Мосэнерго. Исторический обзор. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – С. 159 – 166.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-159-166

### For citation:

Kulichikhin V. V. [Practice of operation of expander-generator units at Mosenergo CHPPs. Historical overview]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 159 – 166 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-159-166

## ЮБИЛЕИ



Редакционная коллегия научно-технического журнала «Надежность и безопасность энергетики»  
Ректорат Национального исследовательского университета МЭИ,  
Дирекция Института проблем энергетической эффективности (ИПЭЭФ),  
Кафедра промышленных теплоэнергетических систем  
**поздравляют профессора, доктора технических наук  
Куличихина Владимира Васильевича с 80-летием  
и желают здоровья и успехов в работе!**

Куличихин Владимир Васильевич, 1937 года рождения, окончил в 1960 г. МВТУ им. Н. Э. Баумана, факультет тепловых и гидравлических машин.

После окончания высшего учебного заведения с 1960 г. по 1966 г. работал во Всесоюзном теплотехническом институте (ВТИ). С 1966 г. по 1968 г. находился в служебной командировке по линии Министерства обороны СССР в Группе советских войск в Германии. После окончания служебной командировки возвратился в ВТИ, где работал до 1993 г.

С 1993 г. по 2003 г. работал директором Учебно-научно-производственного Центра (УНПЦ) НИУ «МЭИ», с 2003 г. работает на кафедре «Промышленные теплоэнергетические системы», сначала в должности заведующего лабораторией, а с 2004 г. и по настоящее время — профессором этой кафедры.

В 1978 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1995 г. — докторскую диссертацию.

Общий научно-педагогический стаж — 52 года.

Является членом диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций в НИУ «МЭИ» и ВТИ.

Научный руководитель семи успешно защищенных кандидатских диссертаций.

Член редакционной коллегии журналов «Надеж-

ность и безопасность энергетики» и «Энергосбережение и водоподготовка».

Имеет более 170 опубликованных научных работ, 14 изобретений. Соавтор учебника «Паровые и газовые турбины», 1985 г., Энергоатомиздат, автор монографии «Совершенствование режимов эксплуатации турбоагрегатов», МЭИ, 2010 г.

Награжден 5 медалями ВДНХ, медалью «Ветеран труда», знаком «Изобретатель СССР». Награжден почетным знаком МЭИ. Является официальным представителем России в Международной научной организации в области энергосбережения и энергоэффективности NESEFF.

Куличихин В. В. в настоящее время читает курс «Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем», ведет обучение студентов на ТЭЦ НИУ «МЭИ», является научным руководителем бакалавров и магистров.

С 2008 года Владимир Васильевич — заместитель главного редактора научно-технического журнала «Надежность и безопасность энергетики». Его высочайшая техническая компетенция практически в любых вопросах электроэнергетики, редчайший литературный вкус и тончайшая, скупулезнейшая грамотность позволяют ежечасно и ежегодно повышать рейтинг журнала все выше и выше.

*Дорогой Владимир Васильевич, живи долго и счастливо!  
Твои друзья и коллеги.*



## Правила для авторов

1. Материал статьи должен соответствовать профилю журнала и излагаться предельно ясно.

2. Поступившие в редакцию статьи проходят двойное слепое рецензирование. Основные критерии целесообразности опубликования — актуальность тематики, информативность, научная новизна.

3. Статья представляется в электронном виде в формате текстового редактора Word for Windows. Объем статьи не должен превышать 14 страниц, включая текст (шрифт Times New Roman, размер 12 п., интервал 1,5), таблицы, графический материал, всю необходимую информацию на английском языке.

4. На первой странице статьи указываются: индекс УДК, название статьи, фамилии авторов (фамилия автора, с которым следует вести переписку, отмечается звездочкой и указывается его адрес электронной почты), названия и почтовые адреса организаций (улица, номер дома, индекс, город, страна), в которых работают авторы, на русском и английском языках.

Статья включает: аннотацию (в пределах 200–250 слов); ключевые слова (5–6 слов); введение, в котором делается краткий обзор сделанного в мире и конкретно формулируется цель работы; основную часть; заключение, в котором в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их

новизны, преимуществ и возможностей применения; список использованных источников. Аннотация, ключевые слова, список использованных источников представляются на русском и английском языках. Подробные правила подготовки статей доступны на веб-сайте [www.sigma08.ru](http://www.sigma08.ru).

5. Авторы на отдельной странице представляют о себе следующие сведения: фамилия, имя, отчество, ученая степень и звание, место работы и занимаемая должность, адрес электронной связи.

6. Статьи, излагающие результаты исследований, выполненных в учреждениях, должны иметь соответствующее разрешение на опубликование в открытой печати.

7. При необходимости в конце основного текста указываются наименование фонда, оказавшего финансовую поддержку, или уровень и наименование программы, в рамках которой выполнена работа, на русском и английском языках.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, ранее уже опубликованных или принятых к печати другими изданиями.

9. Датой поступления считается день получения редакцией первоначального варианта текста. Статьи, не соответствующие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

## Author Guidelines

1. Article materials should correspond to the journal profile and be clearly written.

2. Articles received by the Editorial Board will be reviewed by 2 specialists. The main criteria of acceptance are theme actuality, information value, and scientific novelty.

3. All materials should be submitted in electronic file in the Word for Windows. The paper should not exceed 14 pages of the typewritten text (Times New Roman, 12 points, 1.5-space).

4. The article should contain UDC number, Title, Authors' names (the corresponding author name should be marked with asterisk), full Address of organization(s) in which the author(s) work, Abstract (200–250 words), Keywords (5–6 words), Introduction, the Text of the paper with tables, diagrams and figures (if there are any), Conclusion with clearly stated inferences, List of References. Title, Authors' names and affiliation(s), Abstract, Keywords should be presented both in English

and Russian languages. Detailed rules for the preparation of articles are available on the website [www.sigma08.ru](http://www.sigma08.ru).

5. The following information about every co-author should be presented: family name, first name, patronymic (or second) name (if there are any), scientific degree and title, organization and position, full address with the postal code for correspondence, office or mobile phone numbers, e-mail.

6. Articles containing investigation results obtained in organizations should have a corresponding permission for publication.

7. Names of Foundations or Programs financially granted the research may be acknowledged in the end of the text.

8. Authors are responsible for submitting articles previously published or accepted by other publisher.

9. The date of receipt is considered to be the day when the Editorial Board receives the author's original paper. Articles not meeting the requirements would not be accepted.





# Тренажер ПГУ-450

Фирма АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (АО «ТЭСТ») разработала и внедрила компьютерный тренажерно-аналитический комплекс энергоблока ПГУ-450 МВт с АСУТП Siemens на базе ПТК SPRA-T3000 для Южной ТЭЦ ТГК-1 ОАО «Газпром энергохолдинг».

**Тренажер ПГУ-450**  
прошел  
научно-техническую  
экспертизу и  
государственную  
регистрацию в  
Федеральной службе по  
интеллектуальной  
собственности, патентам  
и товарным знакам.

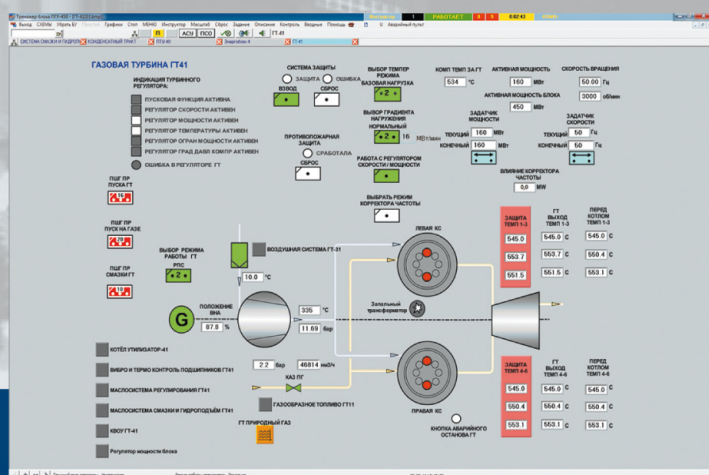
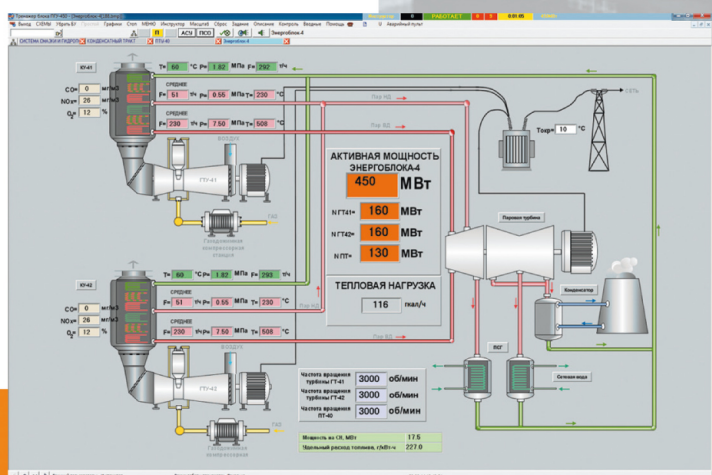
**Тренажер ПГУ-450**  
может применяться  
для подготовки  
оперативного персонала  
на тепловых  
электрических станциях,  
в учебных центрах,  
высших и средних  
учебных  
заведениях.

## Состав ПГУ-450 МВт

- две газотурбинные установки типа ГТЭ160
  - два котла-утилизатора П-96
  - одна паротурбинная установка теплофикационного типа Т-125-150-7,7
  - два генератора ТЗФГ-160-2МУ3
  - генератор ТЗФП-160-2МУ3
- Номинальная мощность блока 450 МВт  
Тепловая мощность 341 Гкал/час  
Топливо – природный газ

## Состав тренажера ПГУ-450

- активные динамические мнемосхемы 136 шт
- всережимная физическая модель блока (включая электрическую часть)
- модель АСУТП (модель защит, блокировок, сигнализаций, пошаговых программ, АВР)
- развитая конфигурация сети
- пульт инструктора
- комплект аварийных ситуаций
- контролирующая программа
- комплект автоматизированных сценариев тренировок с оценкой
- сценарии для работы по диспетчерскому графику с оценкой
- определение технико-экономических показателей энергоблока
- графопостроение
- масштабирование времени
- 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



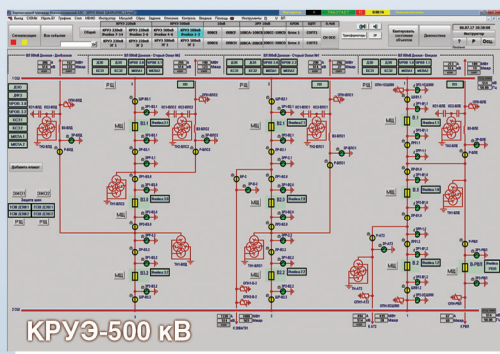


# ТЭСТ

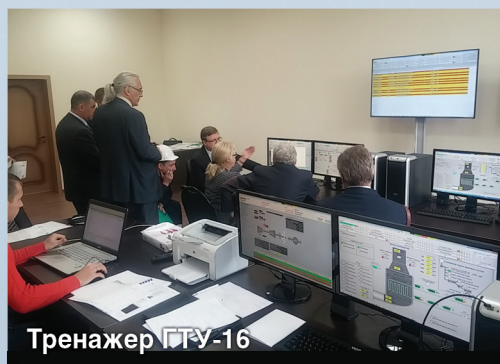
## Тренажеры электрических станций и сетей



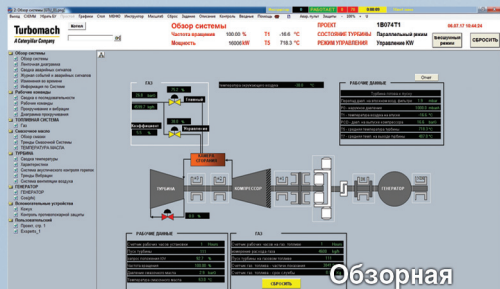
Тренажер Главной  
электрической схемы станции



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) 424-7600, (495) 382-7974  
<http://www.testenergo.ru>,  
[e-mail:magid@testenergo.ru](mailto:e-mail:magid@testenergo.ru)

ISSN: 1999-5555



9 771999 555772

Новые  
модели  
тренажеров!