

# НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ



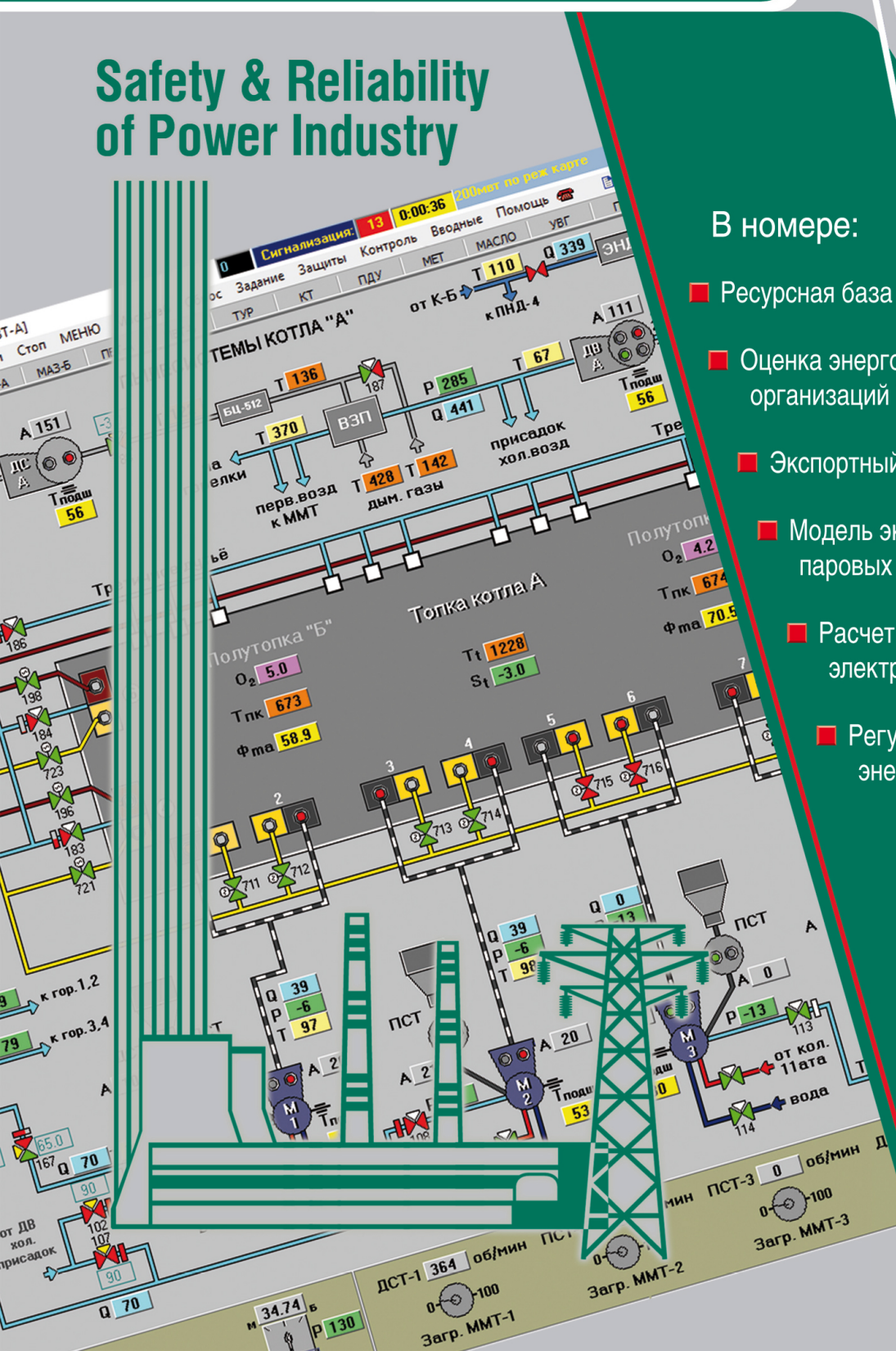
Том 10 №1 2017

**Safety & Reliability  
of Power Industry**

В номере:

- Ресурсная база ядерной энергетики
- Оценка энергоэффективности организаций ТЭК
- Экспортный потенциал атомной отрасли РФ
- Модель эксплуатационных характеристик паровых турбин
- Расчет надежности систем электроснабжения
- Регулировочный диапазон энергоблока ПГУ-325

[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

**ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**

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

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

**ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ**

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

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)

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

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

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

Н. А. ЗРОЙЧИКОВ — д. т. н., профессор, заведующий отделением технологий использования топлив и экологии энергетики ОАО «Энергетический институт им. Г.М.Кржижановского» (ОАО «ЭНИН»)

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

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»

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

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

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

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

С. В. МИЩЕРЯКОВ — д. э. н., к. т. н., Генеральный директор Некоммерческого Партнерства «Корпоративный образовательный и научный центр Единой энергетической системы»

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

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

А. Н. НАЗАРЫЧЕВ — д. т. н., профессор, ректор ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации»

В. А. НЕПОМНЯЩИЙ — академик РАЕН, д. э. н., профессор, к. т. н. В. М. НЕУЙМИН — к. т. н., главный специалист по энергетике ООО «Технологические системы защитных покрытий»

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

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

А. И. ТАДЖИБАЕВ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Диагностика Энергетического Оборудования» ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации»

А. Е. УЖАНОВ — к. с. н., доцент, директор Департамента по связям с общественностью Топливной компании Росатома «ТВЭЛ»

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)

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

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»

В. И. ШАРАПОВ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»

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: — Маланьин Д.Б.

Технический редактор — Тараскина И.В.

Подписано в печать 31.03.2017 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**

**S. 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.

**DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF**

**E. N. ARKHIPOVA** — Dr. of Tech. Sc., Technical Director, JSC «Simulators of power plants and networks».

**V. V. KULICHIKHIN** — Dr. of Tech. Sc., Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute».

**EXECUTIVE EDITOR**

**V. I. BELYAEV** — Cand. of Tech. Sc., Deputy Director General, JSC «Simulators of power plants and networks»

**EDITORIAL BOARD**

**A. 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»

**N. 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

**H. S. DRAGANICHEV** (Bulgaria) — Professor of the Varna Technical University

**I. Sh. ZAGRETDINOV** — Cand. Sc. (Eng), Chief Engineer of JSC «Heat Power Company Mosenergo»

**S. SIMON** (Germany) — Prof. Dr.-Ing., Brandenburg University of Technology (Cottbus-Senftenberg)

**N. A. ZROICHKOV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, «G. M. Krzhizhanovsky Power Engineering Institute»

**M. H. G. IBRAGIMOV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, First Deputy Chairman, NP «Tekhnoskopo»

**N. B. KARNITSKIY** (Belarus) — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the department of thermal power plants, the Belarus National Technical University (Minsk)

**S. A. KROPACHEV** — Dr. of His. Sc., Director General, «Center for Retraining and Advanced Training»

**B. 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»

**M. Yu. LVOV** — Dr. of Tech. Sc., Adviser to the General Director of United Energy Company JSC

**E. M. MARCHENKO** — Cand. of Tech. Sc., Professor, Director, «Eniv», LLC

**V. E. MESSERLE** (Kazakhstan) — Dr. of Tech. Sc., Professor, Head Research Fellow of the Research institute of experimental and theoretical physics, the al-Farabi Kazakh National University (Almaty).

**S. 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»

**D. MORVA** (Hungary) — Sc. Dr., Professor, the Budapest Polytechnic University

**L. P. MUZYKA** — Cand. of Tech. Sc., Director, «Resurs-Personal», LLC

**A. N. NAZARYCHEV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Rector of the «Peterburg power engineering institute of professional development»

**V. A. NEPOMNYASHCHIY** — Academician of the RANS, Dr. of Econ. Sc., Professor, Cand. of Tech. Sc.

**V. M. NEUIMIN** — Cand. of Tech. Sc., Chief Power Engineer, «Technological systems for protective coatings», LLC

**M. M. PCHELIN** — Class I State Councilor of the RF (retired), awardee of the Prize of the Council of Ministers of the USSR

**N. D. ROGALEV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, Rector of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Chairman of the Academic Council

**A. I. TADZHIBAYEV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the Department of diagnostics of energy systems, «Peterburg power engineering institute of professional development».

**A. E. UZHANOV** — Cand. of Sociol. Sc., Director of the PR Department, «TVEL, the fuel company of Rosatom»

**L. 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

**M. 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»

**N. 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»

**V. I. SHARAPOV** — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the Department of heat and gas supply and ventilation of the «Ulyanovsk State Technical University»

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 ПИ № ФЧ77-31974 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 March 31, 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)



# ТРЕНАЖЕР БЛОКА 210 МВт

Фирма АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (АО «ТЭСТ») разработала и внедрила компьютерный тренажерно-аналитический комплекс энергоблока 210 МВт.

Тренажер блока 210 МВт прошел научно-техническую экспертизу.

Тренажер блока 210 МВт прошел государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Тренажер блока 210 МВт может применяться для подготовки оперативного персонала на тепловых электрических станциях, в учебных центрах, высших и средних учебных заведениях.

## Состав блока 210 МВт:

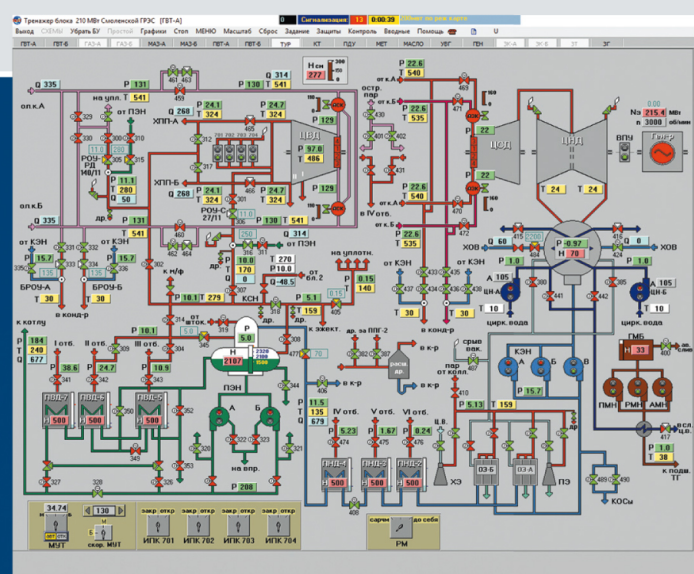
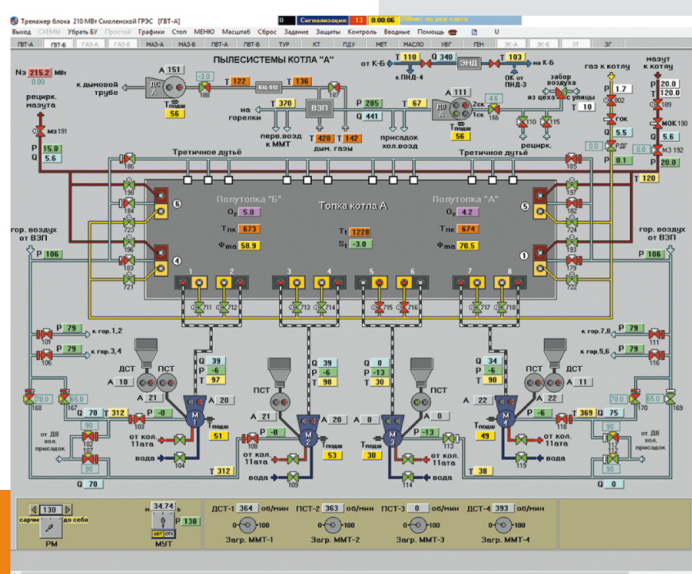
- котел ТПЕ-208 (двухкорпусный)
- турбина К-210–130
- генератор ТГВ-200М

Номинальная мощность блока 210 МВт

Топливо – газ, уголь, мазут

## Состав тренажера блока 210 МВт:

- активные динамические мнемосхемы – 20 шт
- всережимная физическая модель блока
- модель защит, блокировок, сигнализаций, 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
- 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

На первой странице обложки изображен фрагмент мнемосхемы тренажера блока 200 МВт Смоленской ГРЭС



## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

<b>Жизнин С.З., Тимохов В. М.</b> Ресурсная база ядерной энергетики .....	4
<b>Головин Р. А.</b> Экспортный потенциал атомной отрасли Российской Федерации и перспективы его инновационного развития .....	11
<b>Третьякова М. В., Линник Ю. Н.</b> Подход к оценке энергоэффективности организаций топливно-энергетического комплекса .....	18

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

<b>Токарев О. П., Брусницын А. Н., Осика Л. К.</b> Возможности коллективных механизмов оптимизации затрат по сервисному обслуживанию газотурбинных двигателей средней и большой мощности в России .....	26
---	----

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

<b>Крупенёв Д. С., Бояркин Д. А., Якубовский Д. В.</b> Формирование случайных состояний электроэнергетических систем при оценке их надежности методом статистических испытаний .....	33
<b>Султанов М. М., Труханов В. М.</b> Математическая модель изменения выходных эксплуатационных характеристик паровых турбин ТЭС .....	42
<b>Грачева Е. И., Сафин А. Р., Садыков Р. Р.</b> Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей .....	48
<b>Радин Ю. А., Фролов М. С.</b> Ограничения регулировочного диапазона нагрузок энергоблока ПГУ-325 .....	53
<b>Сосновский А. Ю., Мурманский Б. Е., Бродов Ю. М.</b> Влияние зазоров в соединениях элементов системы тепловых расширений на надежность работы многоцилиндровой паровой турбины .....	60
<b>Сайтбаталова Р. С., Ильдиряков С. Р.</b> Некоторые вопросы автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов при изменении частоты .....	67

### ДИСКУССИИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ

<b>Куличихин В. В.</b> Анализ публикаций по детандерной и тригенерационной технологиям .....	71
--	----

### ИНФОРМАЦИЯ .....

### ХРОНИКА ПУБЛИКАЦИИ .....

### СВОЕВРЕМЕННЫЕ АФОРИЗМЫ .....

## CONTENTS

### GENERAL ISSUES OF RELIABILITY AND SAFETY OF ENERGY

<b>Zhiznin S. Z., Timokhov V. M.</b> Resource base of nuclear energy industry .....	4
<b>Golovin R. A.</b> Potential and innovative development prospects of Russia's nuclear industry export .....	11
<b>Tretyakova M. V., Linnik Ju. N.</b> Approach to assessment of energy efficiency of organizations of fuel-energy complex .....	18

### ECONOMIC PROBLEMS IN THE ENERGY SECTOR

<b>Tokarev O. P., Brusnitsyn A. N., Osika L. K.</b> Possible collective mechanisms for optimization of expenses on maintenance of medium and high capacity gas turbine engines in Russia .....	26
--	----

### DESIGN, RESEARCH, CALCULATIONS

<b>Krupenev D. S., Boyarkin D. A., Yakubovskiy D. V.</b> Generation of random states of electric power systems at assessment of their reliability by the Monte Carlo method .....	33
<b>Sultanov M. M., Truhanov V. M.</b> Mathematical model of variation of output operational characteristics of steam turbines of thermal power plants .....	42
<b>Gracheva E. I., Safin A. R., Sadykov R. R.</b> Use of an analytical method for calculating reliability of elements of electric power systems based on probabilistic models .....	48
<b>Radin Yu. A., Frolov M. S.</b> Limitations of adjustment load range of 325 MW combined cycle plant .....	53
<b>Sosnovskiy A. Yu., Murmanskiy B. E., Brodov Yu. M.</b> Influence of clearances in joints of thermal expansions system on reliability of multi-cylinder steam turbine .....	60
<b>Saitbatalova R. S., Ildiriakov S. R.</b> Some problems related to using automatic control of voltage of synchronous generators in case of frequency change .....	67

### DISCUSSIONS, PROBLEMS, OPINIONS

<b>Kulichikhin V. V.</b> Analysis of publications on expander and trigeneration technologies .....	71
--	----

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.039

### Ресурсная база ядерной энергетики

Жизнин С. З.<sup>1</sup>, Тимохов В. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации»

проспект Вернадского, д. 76; 119454, Москва, Россия

<sup>2</sup> Центр энергетической дипломатии и геополитики

Гоголевский бульвар, д. 17, 119019, Москва, Россия

Поступила / Received 13.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 27.01.2017

Основной ресурсной базой ядерной энергетики на тепловых нейтронах сегодня считается природный уран, который является достаточно распространенным элементом, но его концентрация в природных веществах, как правило, весьма низка. Важным фактором для развития ядерной энергетики является стоимость добычи (производства) урана. В зависимости от себестоимости добычи 1 кг урана выделяют четыре стоимостных категории урановых руд.

Залежи урановых руд расположены неравномерно по всему земному шару. В настоящее время 28 стран мира добывают урановую руду в своих недрах и только 19 стран производят урановое топливо. В мире существует значительное несоответствие между странами, лидирующими по объемам мировых запасов урана и его основными потребителями. В таких странах, как Австралия, Казахстан, ЮАР, атомная энергетика почти не развита и потребление урана очень низкое, либо вообще отсутствует. Эти страны обладают крупной ресурсной базой урана и сегодня выступают мировыми экспортерами урановых руд. В то же время такие страны, как США, Китай, Япония, Великобритания, Франция, Германия, напротив, обладают хорошо развитой ядерной отраслью при отсутствии достаточных залежей урановых руд на своей территории. Они выступают, как правило, крупными импортерами урана/урановых руд.

В статье рассмотрены мировые запасы урана в различных категориях цен, запасы в мире по странам, нетрадиционные ресурсы урана, дана краткая характеристика запасов в России, спрос на уран, мировые объемы добычи по странам, компании по добыче, добыча урана в России и сделаны основные выводы о развитии ресурсной базы ядерной энергетики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: природный уран, запасы, добыча, ядерный реактор, ресурсы.

## Resource base of nuclear energy industry

Zhiznin S. Z.<sup>1</sup>, Timokhov V. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs Russian Federation  
Prospect Vernadsky, 76; 119454, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Center of Energy Diplomacy and Geopolitics

Gogolevsky Boulevard, 17, 119019, Moscow, Russia

Natural uranium is considered the main resource of nuclear power based on thermal neutrons. It is a rather common element, though its concentration in natural substances is usually very low. The cost of production of uranium is an

#### Адрес для переписки:

Тимохов В. М.

Центр энергетической дипломатии и геополитики

Гоголевский бульвар, д. 17, 119019, Москва, Россия

e-mail: vl.timokhov@gmail.com

#### Address for correspondence:

Timokhov V. M.

Center for Energy Diplomacy and Geopolitics

Gogolevsky b-ar, 17, 119019, Moscow, Russia

e-mail: vl.timokhov@gmail.com

#### Для цитирования:

Жизнин С.З., Тимохов В.М. Ресурсная база ядерной энергетики. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 4–10.

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-4-10

#### For citation:

Zhiznin S. Z., Timokhov V. M. [Resource base of nuclear energy industry]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 4–10 (in Russian).

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-4-10



## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК: 339.564

# Экспортный потенциал атомной отрасли Российской Федерации и перспективы его инновационного развития

**Головин Р. А.**

ФГАОУ ВО «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации»

Проспект Вернадского, д. 76; 119454, Москва, Россия

Поступила / Received 01.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 26.12.2016

Рассмотрены ключевые этапы развития российской атомной энергетики, среди которых могут быть выделены следующие: первые исследования вопросов ядерной физики (1920–1930 гг.); реализация «атомного проекта» (1940 гг.); масштабное развитие гражданской атомной энергетики (1950–1980 гг.); кризис и восстановление атомной отрасли (1990–2007 гг.); активное развитие на глобальном рынке атомной энергетики (2007 г. – настоящее время). Проанализировано современное состояние и перспективы развития по всем ключевым сегментам атомной отрасли России: добыче природного урана, конверсии урана, обогащению урана, фабрикации ядерного топлива, сооружению АЭС, атомному энергетическому машиностроению, эксплуатации АЭС и выработке электроэнергии, сервисному обслуживанию энергоблоков АЭС, выводу АЭС из эксплуатации, обращению с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Определено, что Россия в настоящее время является одним из мировых лидеров во всех указанных сегментах мирового рынка атомной энергетики, в т. ч. занимает первое место в мире по портфелю заказов на сооружение АЭС, а также по объему производственных мощностей по обогащению урана. Выявлен и оценен экспортный потенциал по каждому из рассматриваемых сегментов. Показано, что для России наибольшим экспортным потенциалом обладают сегменты сооружения АЭС и производства атомного энергетического оборудования. В начальной стадии ядерно-топливного цикла наибольшими перспективами роста экспортных поставок обладает сегмент производства обогащенного уранового продукта (ОУП) и фабрикации ядерного топлива в связи с ростом количества энергоблоков российского дизайна в мире и выходом России на рынок фабрикации топлива для реакторов зарубежного дизайна.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** атомная энергетика; экспортный потенциал; начальная стадия ядерно-топливного цикла; добыча урана; обогащение урана; фабрификация ядерного топлива; сооружение АЭС; атомное машиностроение; конечная стадия ядерно-топливного цикла; переработка отработавшего ядерного топлива; вывод из эксплуатации.

### Адрес для переписки:

Головин Р. А.

ФГАОУ ВО «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации»  
проспект Вернадского, д. 76; 119454, Москва, Россия  
e-mail: golovin.roman@gmail.com

### Address for correspondence:

Golovin R. A.

Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs Russian Federation  
Prospect Vernadsky, 76; 119454, Moscow, Russia  
e-mail: golovin.roman@gmail.com

### Для цитирования:

Головин Р. А. Экспортный потенциал атомной отрасли Российской Федерации и перспективы его инновационного развития. Надежность и безопасность энергетики. 2017. — Т. 10, №1. — с. 11–17.

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-11-17

### For citation:

Golovin R. A. [Potential and innovative development prospects of Russian nuclear industry export]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 11–17 (in Russian).

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-11-17

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 338.246.2

### Подход к оценке энергоэффективности организаций топливно-энергетического комплекса

Третьякова М. В.<sup>1</sup>, Линник Ю. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации  
ул. Щепкина д. 40, стр.1, 129110, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»  
Рязанский просп., 99, 109542, г. Москва, Россия

Поступила / Received 14.11.2016

Принята к печати / Accepted for publication 16.12.2016

Наличие значительного потенциала сокращения потребления энергоресурсов обуславливает значимость энергосбережения и повышения энергетической эффективности как ключевого направления экономического роста для России и повышения ее конкурентоспособности, и обращает внимание на необходимость изучения и совершенствования процесса управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности на корпоративном уровне.

Основными факторами, затрудняющими осуществление системного управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности на основе международного стандарта ISO 50001:2011 (ГОСТ Р ИСО 50001-2012), является малоизученность механизмов самооценки текущего состояния в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и несовершенство методической базы для обоснования экономической эффективности мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, в том числе эффективности внедрения системы энергетического менеджмента (СЭНМ) и других организационных мероприятий. Представляется актуальным провести анализ существующей практики российских организаций по внедрению СЭНМ и разработать подходы к оценке энергосберегающей деятельности организаций. Выявление лучших практик для повышения энергетической эффективности необходимо для реализации государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и стимулирования компаний к снижению энергоемкости продукции.

Для стимулирования компаний к снижению энергоемкости продукции, выявления лучших практик авторами предложен методический подход к оценке энергоэффективности организаций.

Приведенный в работе методический подход в целом предоставляет возможность проводить мониторинг и сравнительный анализ эффективности управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности по отраслям промышленности и по Российской Федерации в целом. Разработанный инструментарий может быть использован организациями ТЭК, промышленными предприятиями, организациями — крупными потребителями ТЭР России для обоснования принятия решений о внедрении и развитии СЭНМ, также предоставляет возможность компаниям самостоятельно оценивать эффективность внедрения и реализации СЭНМ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** энергоэффективность, система энергетического менеджмента, бенчмаркинг, методический подход, результативность, эффективность системы.

#### Адрес для переписки:

Третьякова М. В.  
ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации  
ул. Щепкина д. 40, стр.1, 129110, г. Москва, Россия  
e-mail: tretyakovamv@gmail.com

#### Address for correspondence:

Tretyakova M. V.  
«Russian energy Agency» Ministry of Energy of the Russian Federation  
Shchepkina, 40, p.1, 129110, Moscow, Russia  
e-mail: tretyakovamv@gmail.com

#### Для цитирования:

Третьякова М. В., Линник Ю. Н. Подход к оценке энергоэффективности организаций топливно-энергетического комплекса. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 18–25.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-18-25

#### For citation:

Tretyakova M. V., Linnik Ju. N. [The approach to assessing the efficiency of organizations of fuel-energy complex]. Na-dezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 18–25 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-18-25



## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 658.7

# Возможности коллективных механизмов оптимизации затрат по сервисному обслуживанию газотурбинных двигателей средней и большой мощности в России

Токарев О. П.<sup>1</sup>, Брусницын А. Н.<sup>2</sup>, Осика Л. К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Министерство промышленности и торговли Российской Федерации  
Китайгородский проезд, д. 7, 109074, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Фонд поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности «Энергия без границ»  
ул. Большая Пироговская, д. 27, стр. 4, 119435, Москва, Россия

Поступила / Received 12.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 12.01.2017

Вследствие недавно произошедших процессов дерегулирования в электроэнергетике Европы и всего мира наблюдается сдвиг в традиционном подходе к владению генерирующими активами, в том числе в период их эксплуатации. Условия работы на рынках электроэнергии (мощности) предъявляют серьезные требования к операторам газотурбинной техники по снижению операционных затрат. Анализируется сложившаяся в мире ситуация с организацией сервисного обслуживания энергетических газотурбинных двигателей (ГТД) средней и большой мощности. Приведены закономерности управления жизненным циклом этих сложных и капиталоемких изделий в зависимости от степени их освоения генерирующими компаниями и появления необходимых эксплуатационных компетенций. Анализ опыта работы сервисных компаний и операторов тепловых электростанций в различных странах и регионах мира указывает на возможность конкуренции в сфере сервисного обслуживания мощных энергетических ГТД. Следующим этапом усиления рынка является объединение операторов ГТД с целью оптимизации эксплуатационных расходов. Описан опыт Европейского Союза по созданию коллективных механизмов снижения затрат на техническое обслуживание ГТД и организации рынков сервисных услуг и комплектующих. Предложена схема подобного механизма в России с учетом особенностей государственного управления энергомашиностроением и электроэнергетикой и наличия действующих отраслевых и межотраслевых профессиональных объединений. Приведены основные задачи Объединения операторов для организации системы сервисного обслуживания (ООСО). Рассмотрены организационные формы ООСО, наиболее эффективные в настоящее время в российской энергетике. Сделан вывод, что в становлении коллективных механизмов оптимизации затрат на эксплуатацию ГТД на современном этапе развития энергетического машиностроения ключевая роль должна принадлежать Минпромторгу России.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** газотурбинный двигатель, газотурбинная установка, техническое обслуживание, ремонт, сервисное обслуживание, рынок сервисных услуг, рынок комплектующих.

### Адрес для переписки:

Осика Л. К.

Фонд поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности «Энергия без границ»

ул. Большая Пироговская, д. 27, стр. 1, 119435, Москва, Россия

E-mail: Osika\_lk@interrao.ru

### Address for correspondence:

Osika L. K.

«Energy without borders» Science, Technology and Innovation Fund

Bolshaya Pirogovskaya st., 27, building 1, 119435, Moscow, Russia

E-mail: Osika\_lk@interrao.ru

### Для цитирования:

Токарев О. П., Брусницын А. Н., Осика Л. К. Возможности коллективных механизмов оптимизации затрат по сервисному обслуживанию газотурбинных двигателей средней и большой мощности в России. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 26 – 32.

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-26-32

### For citation:

Tokarev O. P., Brusnitsyn A. N., Osika L. K. [Possible collective mechanisms of expenses optimization on maintenance of average and big capacity gas turbine engines in Russia]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 26 – 32 (in Russian).

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-26-32

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.311.1, 51.74

# Формирование случайных состояний электроэнергетических систем при оценке их надежности методом статистических испытаний

**Крупенёв Д. С.<sup>1</sup>, Бояркин Д. А.<sup>1,2</sup>, Якубовский Д. В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук  
ул. Лермонтова 130, 664033, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»  
ул. Лермонтова 83, 664074, г. Иркутск, Россия

Поступила / Received 17.11.2016

Принята к печати / Accepted for publication 10.12.2016

Рассматривается вопрос эффективности оценки надежности электроэнергетических систем, а, именно, эффективность генераторов псевдослучайных чисел при формировании случайных состояний электроэнергетической системы при использовании метода статистических испытаний (метода Монте-Карло). Исследуется эффективность четырех генераторов псевдослучайных чисел (линейно-конгруэнтного генератора, запаздывающего генератора Фибоначчи, вихря Мерсенна,  $ЛП_r$ -последовательностей). Для анализа работы данных генераторов псевдослучайных чисел был использован критерий Колмогорова-Смирнова для определения степени случайности получаемых последовательностей чисел. На основании данного анализа было определено, что наиболее случайную последовательность чисел можно получить, используя  $ЛП_r$ -последовательность. Далее был проведен визуальный анализ полученных последовательностей псевдослучайных чисел, который показал, что наиболее равномерным «заполнением» точек плоскости обладает  $ЛП_r$ -последовательность, в то время как линейно-конгруэнтный генератор и запаздывающий генератор Фибоначчи образуют пустоты. В финальной части проведенных исследований анализируемые генераторы псевдослучайных чисел были использованы в модели для оценки надежности тестовой трехузловой схемы электроэнергетической системы методом Монте-Карло. В результате линейно-конгруэнтный генератор и запаздывающий генератор Фибоначчи не смогли стабилизироваться даже спустя десяти тысячное разыгрывание, что коррелирует с критерием Колмогорова-Смирнова и показывает их слабослучайный характер и слабую пригодность при оценке надежности электроэнергетических систем. Результаты работы вихря Мерсенна,  $ЛП_r$ -последовательностей оказались более качественными. Математическое ожидание дефицита мощности при заданном доверительном интервале при использовании вихря Мерсенна стабилизировалось к 4000 разыгрываниям, а при использовании  $ЛП_r$ -последовательностей на 2500 разыгрывании. Таким образом, можно заключить, что наиболее пригодным генератором псевдослучайных чисел при оценке надежности электроэнергетических систем методом Монте-Карло являются  $ЛП_r$ -последовательности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оценка надежности, электроэнергетическая система, метод статистических испытаний, генератор случайных чисел.

### Адрес для переписки:

Крупенёв Д. С.  
ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук  
ул. Лермонтова 130, 664033, г. Иркутск, Россия  
e-mail: krupenev@isem.irk.ru

### Address for correspondence:

Krupenev D. S.  
Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
Lermontov St., 130, 664033, Irkutsk, Russian  
e-mail: krupenev@isem.irk.ru

### Для цитирования:

Крупенёв Д. С., Бояркин Д. А., Якубовский Д. В. Формирование случайных состояний электроэнергетических систем при оценке их надежности методом статистических испытаний. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 33 – 41.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-33-41

### For citation:

Krupenev D. S., Boyarkin D. A., Yakubovskiy D. V. [Generation of random states of electric power systems when we use Monte Carlo method for assessment of their reliability]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 33 – 41 (in Russian). DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-33-41



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.192

# Математическая модель изменения выходных эксплуатационных характеристик паровых турбин ТЭС

**Султанов М. М., Труханов В. М.**

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
пр-т Ленина, 69404110, г. Волжский Волгоградской области, Россия

Поступила / Received 13.01.2017

Принята к печати / Accepted for publication 27.02.2017

Проведены исследования статистических сведений по отказам и дефектам, влияющим на работоспособность паровых турбин ТЭС. Представлена математическая модель изменения выходных характеристик турбины в зависимости от числа отказов в процессе эксплуатации. Математическая модель основана на методах математической статистики, теории вероятностей и методах матричного исчисления. Новизна модели заключается в возможности прогнозировать изменение параметров управления и выходной характеристики в явном виде. В качестве таковых характеристик могут быть приняты средняя нагрузка, выработка тепла и электроэнергии, наработка, количество времени, затраченное на неплановый ремонт, численность персонала, участвующего в ремонте, стоимость ремонта, доходы от реализации тепловой и электрической энергии, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы и т. п. По статистическим данным, полученным в процессе эксплуатации паровых турбин, представлена качественная и количественная оценка показателей надежности. Предложены конкретные мероприятия по устранению причин отказов частей турбин и турбинного оборудования. Наибольшее число повреждений и отказов турбин приходится на обрывы рабочих лопаток по причине истощения ресурса и предельной усталости металла. На статистику отказов подшипников оказывают влияние как внутренние, так и внешние факторы технического и эксплуатационного характера. Повреждение подшипников и деталей роторов чаще всего приводит к неплановому останову и ремонту турбины. Наиболее часто встречаются отказы главного масляного насоса и маслопроводов. По статистическим данным можно разработать соответствующие мероприятия по улучшению выходных характеристик. Это так называемая пассивная модель управления выходной характеристики. С целью управления выходной характеристикой в явном виде предлагается вероятностная модель с учетом управляющих воздействий. Приведен конкретный пример изменения выходных характеристик турбин за многолетний период эксплуатации.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** качество, надежность, показатели надежности, математическая модель, управляющие воздействия, турбины, выходные характеристики, параметры управления.

### Адрес для переписки:

Султанов М. М.  
Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
пр-т Ленина, 69404110, г. Волжский Волгоградской обл., Россия  
e-mail: sultanov\_mm@mail.ru

### Address for correspondence:

Sultanov M. M.  
Volzhsky Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,  
69 Lenin St., Volzhsky, Volgograd region, 404110, Russia  
e-mail: sultanov\_mm@mail.ru

### Для цитирования:

Султанов М. М., Труханов В. М. Математическая модель изменения выходных эксплуатационных характеристик паровых турбин ТЭС. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 42–47.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-42-47

### For citation:

Sultanov M. M., Truhanov V. M. [Mathematical model of change of output operational characteristics of thermal power plants' steam turbines]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 42–47 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-42-47

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.313

# Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей

Грачева Е. И., Сафин А. Р., Садыков Р. Р.

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

Поступила / Received 17.05.2016

Принята к печати / Accepted for publication 08.06.2016

В настоящее время уже не приходится доказывать необходимость численной оценки надежности внутризаводских систем электроснабжения. Установились общепринятые показатели надежности в виде частоты различных аварий и математического ожидания недоотпуска электроэнергии потребителям или снижения выработки энергии станциями. Выявились факторы, которые необходимо учитывать при анализе надежности работы систем электроснабжения: наличие ремонтных схем коммутации и длительность ремонтов основного оборудования и коммутационной аппаратуры, отказы коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты и электроавтоматики, оперативные переключения, сезонное изменение повреждаемости воздушных линий и оборудования наружной установки. При этом следует учитывать возможное отсутствие достоверной исходной информации о надежности элементов при рассмотрении конкретной установки. Сформулированы модели аналитического метода расчета параметров надежности элементов систем электроснабжения в программной среде Matlab. Рассмотрены модели надежности установок с восстановлением и профилактикой. Рассмотрены три состояния системы — работоспособное, аварийный простой и восстановление, плановый простой для профилактического обслуживания или ремонта с учетом интенсивностей аварийных и плановых отключений, интенсивностей восстановления и окончания планового обслуживания и ремонта. Показано, что в настоящее время целенаправленный отбор и количественная оценка вкладов в ненадежность систем электроснабжения отказов элементов системы, ее состояний и режимов, а также эффективности различных противоаварийных мероприятий позволяют выявить слабые звенья систем электроснабжения и наметить конкретные пути по ее совершенствованию в процессе человеко-машинного синтеза системы электроснабжения. При проектировании на этой основе осуществляется поиск новых схемных решений, изменения структуры схемы и компоновочных решений состава ее оборудования для усиления слабых мест, исключения излишнего или, напротив, использования более надежного оборудования, а также его модернизации.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** аналитический метод, вероятностное моделирование, элементы оборудования, работоспособное состояние, аварийный и плановый простой, профилактическое обслуживание, ремонт, интенсивность отключения, интенсивность восстановления.

### Адрес для переписки:

Грачева Е. И.  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия  
e-mail: grachieva.i@bk.ru

### Address for correspondence:

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

### Для цитирования:

Грачева Е. И., Сафин А. Р., Садыков Р. Р. Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 48–52.

**DOI:** 10.24223/1999-5555-2017-10-1-48-52

### For citation:

Gracheva E. I., Safin A. R., Sadykov R. R. [The use of an analytical method for calculating electric power systems elements reliability based on probabilistic models]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 48–52 (in Russian).

**DOI:** 10.24223/1999-5555-2017-10-1-48-52



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.311.22

# Ограничения регулировочного диапазона нагрузок энергоблока ПГУ-325

**Радин Ю. А., Фролов М. С.**

ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт»

ул. Автозаводская, д. 14, 115280, г. Москва, Россия

Поступила / Received 05.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 09.12.2016

Рассмотрены ограничения регулировочного диапазона нагрузок блока ПГУ-325 на базе двух газотурбинных установок (ГТУ) типа ГТЭ-110. Отмечено, что для ПГУ-325 минимальная мощность разгруженного блока, при которой его оборудование может работать без ограничений по времени, должна составлять около 30% от номинальной (при одной отключенной ГТУ).

Рассмотрены особенности эксплуатации ГТЭ-110:

- при мощности ниже 65% номинальной заводом-изготовителем согласован режим работы только с полностью открытым входным направляющим аппаратом (ВНА) компрессора;
- в диапазоне нагрузок ГТУ 18–48 МВт мощность изменяется скачкообразно.

При обосновании минимальной допустимой мощности ПГУ-325 учтены следующие факторы:

- 1) заводом-изготовителем регламентирована минимально допустимая температура пара высокого давления перед паровой турбиной, равная 473°C (защитное отключение — при 440°C);
- 2) эксплуатация ГТУ с подачей природного газа в обе зоны камеры сгорания;
- 3) эксплуатация действующих ГТУ в диапазоне нагрузок 65–100% номинальной в пределах регулирования ВНА.

Показано, что минимальная нагрузка ГТУ соответствует значению ее мощности при предельно допустимой температуре пара высокого давления (ВД) 450°C при условии корректировки алгоритма подачи топлива в камеру сгорания ГТУ.

На основании этого выполнены расчеты соответствующей мощности блока:

- 1) регулировочный диапазон нагрузок блока составляет 69–100% с учетом ограничения завода-изготовителя ГТЭ-110;
- 2) реализация предложенных в статье мероприятий позволит снизить технологический минимум нагрузки ПГУ-325 до 42% номинальной;
- 3) отключение части оборудования ПГУ-325 позволит снизить минимальную нагрузку блока до 34% для находящихся в эксплуатации ГТЭ-110 и до 20% — при реализации предложенных мероприятий.

Показано, что энергетическая эффективность разгружения ПГУ-325 обеспечивается при мощности не менее 78 МВт в составе 1×ГТУ+1×КУ+ПТ и 139 МВт в режиме дубль-блока.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** парогазовая установка (ПГУ), газотурбинная установка (ГТУ), котел-утилизатор (КУ), паровая турбина (ПТ), маневренность, регулировочный диапазон нагрузок.

### Адрес для переписки:

Фролов М. С.

ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт»

ул. Автозаводская, д. 14, 115280, г. Москва, Россия

e-mail: MSFrolov@vti.ru

### Address for correspondence:

Frolov M. S.

All-Russia Thermal Engineering Institute

Avtozavodskaya street, 14, 115280, Moscow, Russia

e-mail: MSFrolov@vti.ru

### For citation:

Radin Yu. A., Frolov M. S. [Limitations of the adjusting load range of 325 MW combined cycle plant]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 53–59 (in Russian).

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-53-59

### Для цитирования:

Радин Ю. А., Фролов М. С. Ограничения регулировочного диапазона нагрузок энергоблока ПГУ-325. *Надежность и безопасность энергетики*. 2017. – Т. 10, №1. – с. 53–59.

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-53-59

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.311.22

# Влияние зазоров в соединениях элементов системы тепловых расширений на надежность работы многоцилиндровой паровой турбины

Сосновский А. Ю.<sup>1</sup>, Мурманский Б. Е.<sup>2</sup>, Бродов Ю. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «Инженерный центр «Уралтехэнерго»

ул. Малышева, 105, 620062, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

ул. Мира, 19, 620002, г. Екатеринбург, Россия

Поступила / Received 27.09.2016

Принята к печати / Accepted for publication 27.10.2016

Представлены результаты исследований конструктивных причин, приводящих к нарушениям в работе системы тепловых расширений (СТР) паровых турбин.

Разработана модель и на ее основе выполнен анализ взаимодействия цилиндра турбины, корпуса подшипников и фундаментной рамы при воздействии на цилиндр сдвиговых усилий и моментов от присоединенных трубопроводов. Рассмотрены возможные варианты контакта в паре «продольная шпонка – паз в корпусе подшипников». Показано, что самым неблагоприятным для работы СТР является «диагональный» вид контакта. По результатам выполненного моделирования установлено влияние соотношения величин зазоров в шпоночных соединениях СТР на вероятность возникновения «диагонального» контакта и заклинивания корпуса подшипников на продольных шпонках. Представлена методика построения «диаграммы устойчивости», предназначенной для оценки устойчивости СТР цилиндра турбины к внешнему воздействию. В качестве примера показаны результаты исследования устойчивости для цилиндра высокого давления и переднего корпуса подшипников с габаритами, соответствующими турбине Т-175/210-130.

Выявлено, что для обеспечения надежности работы при проектировании новых или модернизации существующих турбин необходимо учитывать влияние соотношения величин зазоров в элементах СТР. Соотношение выбранных зазоров в сочленениях СТР должно исключать возможность заклинивания корпуса подшипников на продольных шпонках. Показано, что увеличение в процессе эксплуатации турбины зазоров в поперечных шпоночных соединениях приводит к увеличению вероятности заклинивания. Обосновано, что для обеспечения надежной работы СТР необходимо в обязательном порядке в каждый капитальный ремонт турбины выполнять работы по восстановлению зазоров в поперечных шпоночных соединениях или применять «поворотные» шпонки, не подверженные изменению зазоров при взаимных угловых перемещениях лап цилиндров турбины и соответствующих опорных поверхностей корпусов подшипников.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** турбоустановка, тепловые расширения, корпус подшипников, продольная шпонка, поперечная шпонка, надежность.

### Адрес для переписки:

Сосновский А. Ю.

ЗАО «Инженерный центр «Уралтехэнерго»

ул. Малышева, 105, 620062, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: sosnovskiy66@mail.ru

### Address for correspondence:

Sosnovskiy A. Yu.

Engineering Center «Uraltechenergo»

Malyshev str., 105, 620062, Ekaterinburg, Russia

e-mail: sosnovskiy66@mail.ru

### Для цитирования:

Сосновский А. Ю., Мурманский Б. Е., Бродов Ю. М. Влияние зазоров в соединениях элементов системы тепловых расширений на надежность работы многоцилиндровой паровой турбины. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 60 – 66.

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-60-66

### For citation:

Sosnovskiy A. Yu., Murmanskiy B. E., Brodov Yu. M. [An influence of clearances in element compounds of thermal expansions system on multi-cylinder steam turbine reliability]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 60 – 66 (in Russian).

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-60-66

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 621.311

# Некоторые вопросы автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов при изменении частоты

**Саитбаталова Р. С., Ильдиряков С. Р.**

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия

Поступила / Received 03.06.2016

Принята к печати / Accepted for publication 08.07.2016

Рассматривается возможность применения в отдельных системах электроснабжения автоматического регулирования возбуждения пропорционального типа, выполненного в виде устройств компаундирования с электромагнитным корректором напряжения, осуществляющего изменение возбуждения в зависимости от частоты и напряжения на зажимах генератора. Демонстрируется сравнительная эффективность подобного решения в сравнении с автоматическими регуляторами возбуждения, не имеющими органов контроля частоты. Приводятся графики, демонстрирующие изменения потребляемой активной и реактивной мощности эквивалентной нагрузкой, характерной для промышленных потребителей, в зависимости от частоты и в зависимости от напряжения. Анализ результатов оценки показал, что внедрение предлагаемого решения уменьшает небаланс активной мощности с 6,5% до 3,5% при уменьшении частоты на 10%.

Автоматические регуляторы возбуждения пропорционального типа с контролем частоты возможно найдут применение на собственных источниках питания предприятий с непрерывным технологическим процессом, вопрос качества электроснабжения которых решается применением в качестве второго независимого источника питания собственной генерации, не имеющей связи с энергосистемой. Эффективность подобного решения, как показал опыт эксплуатации таких предприятий, достаточно высокая в виду минимизации урона от провалов напряжения, возникающих во внешней системе электроснабжения из-за повреждений и ненормальных режимов в сетях 110 и 220 кВ.

В качестве рекомендаций приводится оценка особенностей применения предлагаемого автоматического регулятора возбуждения с органом контроля частоты при реализации варианта параллельной работы генераторов собственных источников питания предприятий с внешней энергосистемой, а также при некоторых нарушениях статической устойчивости.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматический регулятор возбуждения, частота, напряжение, устойчивость системы.

### Адрес для переписки:

Ильдиряков С. Р.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия

E-mail: isr@hotbox.ru

### Address for correspondence:

Ildiriakov S. R.

Kazan State Power Engineering University

Str. Krasnoselskaya, 51, 420066, Kazan, Russia

E-mail: isr@hotbox.ru

### Для цитирования:

Для цитирования: Саитбаталова Р. С., Ильдиряков С. Р.

Некоторые вопросы автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов при изменении частоты. Надежность и безопасность энергетики.

2017. – Т. 10, №1. – С. 67–70.

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-67-70

### For citation:

Saitbatalova R. S., Ildiriakov S. R. [Some problems using automatic control voltage of synchronous generators in case of frequency change]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 67–70 (in Russian).

DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-67-70



## ДИССКУССИИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ

УДК 621.1.018.4

# Анализ публикаций по детандерной и тригенерационной технологиям

**Куличихин В. В.**

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

Поступила / Received 21.01.2017

Принята к печати / Accepted for publication 01.03.2017

Министерство образования и науки Российской Федерации оказывает финансовую поддержку различным вузам в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». При этом оно рассчитывает на «...определение направлений и разработку технических решений, направленных на повышение термодинамической и технико-экономической эффективности объектов распределенной и малой энергетики...».

В качестве своеобразных отчетов о выполнении научно-исследовательских работ по соглашениям между Министерством образования и науки Российской Федерации и вузом-исполнителем являются, в частности, публикации статей в журнале «Теплоэнергетика». Однако анализ уже опубликованных статей-отчетов свидетельствует о слабой теоретической подготовке авторов в области термодинамики, теории турбомашин и теплоэнергетики, об отсутствии перспективных разработок и повторении ранее известных технических решений, термодинамическая эффективность которых научно не доказана, а также о невозможности осуществления ряда предложенных авторами технических решений.

В анализируемых публикациях не приводятся результаты определения термодинамической эффективности предложенных детандерных и тригенерационных установок на основе известного специалистам эксергетического метода термодинамического анализа. Для доказательства эффективности указанных установок используется обычный сравнительный расчет технико-экономических показателей ТЭЦ без и с ДГА, который выдается за термодинамический анализ. В качестве характеристики термодинамической эффективности установок этих типов применяется «модифицированный» коэффициент использования тепла топлива, который таковым не является и приводит лишь к завышению коэффициента эффективности. Применение ДГА на ТЭЦ, где имеются достаточно большой расход ПГ и источники тепловой энергии не представляет для ТЭЦ никакого интереса из-за малой электрической мощности этих установок (0,6–0,7% от установленной мощности ТЭЦ и менее), а внедрение их на объектах малой энергетики оказывается неосуществимым в силу невозможности создания соответствующего оборудования. Заявленные некоторыми авторами преимущества ДГА опровергаются фактом вывода всех четырех ДГА в системе Мосэнерго из эксплуатации уже более шести лет тому назад.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** природный газ (ПГ), избыточное давление, термодинамическая эффективность, детандерная технология, детандер-генераторные агрегаты (ДГА), тригенерационная технология, особенности эксплуатации.

### Адрес для переписки:

Куличихин В. В.  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,  
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. Анализ публикаций по детандерной и тригенерационной технологиям. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №1. – с. 71–80.  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-71-80

### For citation:

Kulichikhin V. V. [Analysis of publications on expander and trigeneration technologies]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 71–80 (in Russian).  
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-1-71-80

## ИНФОРМАЦИЯ

### 23-ая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»

2–3 марта 2017 года в Национальном исследовательском университете «МЭИ» состоялась 23-ая ежегодная Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Организаторы конференции — Министерство образования и науки РФ, НИУ «МЭИ», Академия электротехнических наук, Ассоциация международных отделов технических университетов стран Центральной и Восточной Европы (АМО).

Конференция объединяет ключевые научные направления в энергетике: «Радиотехника и электроника», «Информационные технологии», «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», «Инженерная экология», «Экономика и менеджмент», «Энергетика и экономика предприятий», «Ядерная энергетика и теплофизика», «Теплоэнергетика», «Энергомашиностроение» и «Электроэнергетика». Данные научные направления были представлены в 54-х секциях конференции.

На Конференции было представлено 1107 докладов.

В работе приняли участие представители ВУЗов и научных центров России — НИУ МЭИ, НИУ МИЭТ, МИСиС, МГТУ им. Баумана, АлтГТУ, МГТУ им. Носова, ИГЭУ, ГУ им. Шакарима, СамГТУ, КГЭУ и других. Впервые с докладами выступили ученики школы 2126 НИУ «МЭИ».

Среди международных участников, гостей конференции, наиболее многочисленной была делегация из Бранденбургского Технического Университета, г. Котбус-Зенфтенберг (Германия), возглавляемая профессором, д. т. н. Уинфридом Шютсом, выступившим с пленарным докладом на тему: «Energy saving regulations in Germany, history – status – future» на торжественном открытии Конференции. Все члены немецкой делегации представили результаты своих научных достижений в секции 35 «Промышленные теплоэнергетические системы» (председатель секции — к. т. н., доц., заведующий кафедрой ПТС Яворовский Ю. В., секретарь секции — к. т. н., доц. кафедры ПТС Жигулина Е. В.).



Проректор по научной работе НИУ «МЭИ» д.т.н. Драгунов В.К. со студентами Бранденбургского Технического Университета (г. Котбус-Зенфтенберг, Германия). Источник: пресс-служба НИУ «МЭИ».

**Подписка на научно-технический журнал «Надежность и безопасность энергетики»**

Подписная цена (1200 рублей за номер 2017 г.) включает стоимость доставки.

**Для организаций:** Чтобы оформить подписку, достаточно оплатить счет, для получения которого отправьте заявку в свободной форме с реквизитами Вашей организации по e-mail: sigma08@sigma08.ru.

**Для частных лиц:** 1) Перечислите деньги на наш расчетный счет по реквизитам, приведенным в квитанции через любой банк. 2) Отправьте письмо с копией квитанции об оплате по e-mail: sigma08@sigma08.ru. **Обязательно укажите в письме почтовый адрес для получения журнала.**

Через редакцию вы можете подписаться на журнал, начиная с любого номера. Наличие архивных номеров просим уточнять перед оплатой.

Подписка также осуществляется:

1. через специальную форму оплаты на сайте <http://www.sigma08.ru>;
2. в любом почтовом отделении через объединенный каталог «Пресса России», индекс 45024.
3. через интернет-каталог «Пресса России» или интернет-каталог «Пресса по подписке», индекс E45024.
4. полнотекстовые версии статей размещены в платном доступе в научной электронной библиотеке elibrary.ru.

<b>Извещение</b>	<i>Форма № ПД-4</i> <b>ООО «НПО Энергобезопасность»</b>
	(наименование получателя платежа) <b>7706684718</b> <b>40702810938000113448</b>
	(ИНН получателя платежа) (номер счета получателя платежа) <b>ПАО СБЕРБАНК г. Москва</b> БИК <b>044525225</b>
	(наименование банка получателя платежа) Номер кор./сч. банка получателя платежа <b>30101810400000000225</b>
	<b>Подписка на научно-технический журнал «Надежность и безопасность энергетики»</b>
	(наименование платежа) Ф.И.О. плательщика: _____ Адрес плательщика: _____ Сумма платежа: _____ руб. _____ коп. Сумма платы за услуги: _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп. “ ” _____ 200 ____ г. С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка о знакомлен и согласен. <b>Подпись плательщика</b>
<b>Кассир</b>	<b>ООО «НПО Энергобезопасность»</b>
	(наименование получателя платежа) <b>7706684718</b> <b>40702810938000113448</b>
	(ИНН получателя платежа) (номер счета получателя платежа) <b>ПАО СБЕРБАНК г. Москва</b> БИК <b>044525225</b>
	(наименование банка получателя платежа) Номер кор./сч. банка получателя платежа <b>30101810400000000225</b>
	<b>Подписка на научно-технический журнал «Надежность и безопасность энергетики»</b>
	(наименование платежа) Ф.И.О. плательщика: _____ Адрес плательщика: _____ Сумма платежа: _____ руб. _____ коп. Сумма платы за услуги: _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп. “ ” _____ 200 ____ г. С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка о знакомлен и согласен. <b>Подпись плательщика</b>
<b>Квитанция</b>	



## 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 (не более 5); 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.

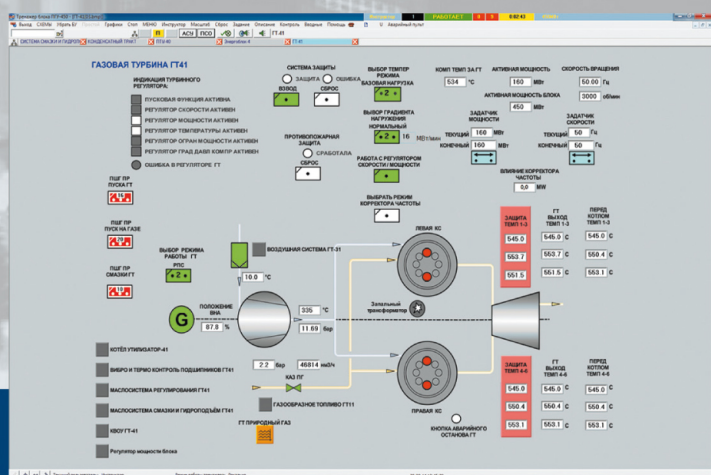
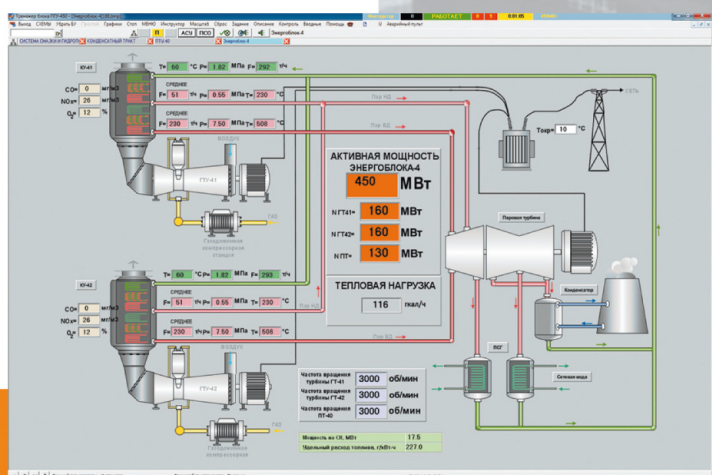
**Тренажер ПГУ-450**  
может применяться  
для подготовки  
оперативного персонала  
на тепловых  
электрических станциях,  
в учебных центрах,  
высших и средних  
учебных  
заведениях.

## 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»:

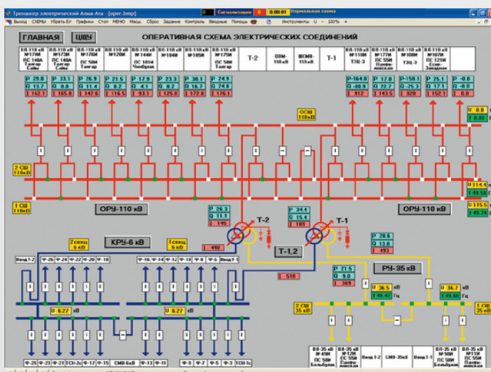
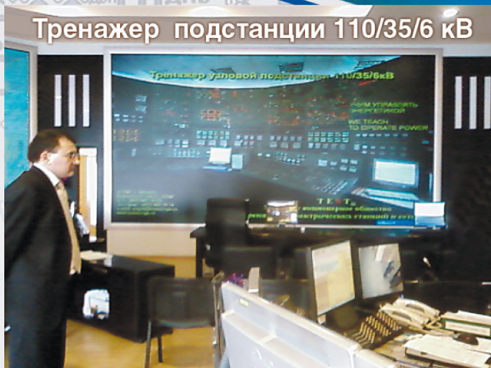
117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6  
Тел. (495) 665-76-00, факс (495) 382-79-74  
e-mail: magid@testenergo.ru, www.testenergo.ru



# Учим управлять энергетикой!

# ТЭСТ

## Тренажеры электрических станций и сетей



### 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

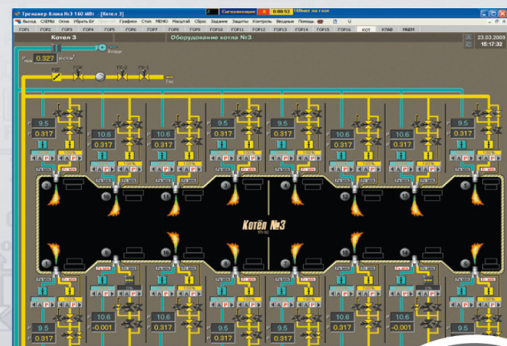
### Современные информационные технологии

- 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

- 30 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)



**Новые  
модели  
тренажеров!**

ISSN: 1999-5555



9 771999 555772