

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

## РЕДАКТОРЫ РАЗДЕЛОВ

А. Я. ШЕЛГИНСКИЙ — д. т. н., профессор кафедры «Промышленные теплоэнергетические системы», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия) — раздел «Генерация электроэнергии и тепла»  
Н. Д. ЧИЧИРОВА — действительный член Российской академии естественных наук, д. х. н., профессор, зав. кафедрой «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Эксплуатация электрических станций»

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

И. Г. АХМЕТОВА — д. т. н., проректор по научной работе, зав. кафедрой Экономики и организации производства ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Цифровые технологии и экономика»

Н. Н. ШВЕЦ — д. э. н., профессор, зав. кафедрой «Мировая электроэнергетика» МГИМО МИД России — раздел «Энергетические аспекты международных отношений»

А. И. ТАДЖИБАЕВ — Заслуженный энергетик Российской Федерации, действительный член Академии электротехнических наук, д. т. н., зав. кафедрой «Диагностика и управление техническим состоянием энергетического оборудования» ФГАОУ ДПО «ПЭИПК» (Санкт-Петербург, Россия) — раздел «Техническая диагностика и неразрушающий контроль в энергетике»

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Н. ВИВЧАР — к. г. н., Начальник инженерного управления ПАО «Мосэнерго» (Москва, Россия)

А. В. ВОЛКОВ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой Гидромеханики и гидравлических машин, Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва, Россия)

Е. П. ГРАБЧАК — Заместитель министра Министерства энергетики Российской Федерации (Москва, Россия)

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

А. А. ЖАРКОВСКИЙ — д.т.н., профессор, профессор Высшей школы энергетического машиностроения Института энергетики, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (Санкт-Петербург, Россия)

А. М. ЗАГРЕБАЕВ — д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Кибернетика» / Институт интеллектуальных кибернетических систем, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва, Россия)

И. Ш. ЗАГРЕТДИНОВ — к. т. н., генеральный директор АО «Институт Теплоэлектропроект», (Москва, Россия)

М. Г. ЗИГАНШИН — д. т. н., доцент, профессор кафедры «Атомные и тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия)

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

И. М. ИБРАГИМОВ — д. т. н., ведущий научный сотрудник Акустического института имени академика Н. Н. Андреева (Москва, Россия)

М. С. ИВАНИЦКИЙ — д.т.н., доцент, профессор кафедры «Энергетика» филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском (Волжский, Россия)

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

С. А. КРОПАЧЕВ — д. и. н., ректор Энергетического института повышения квалификации АО «Мособлэнерго» (Москва, Россия)

В. В. КУЛИЧИХИН — д. т. н., академик Академии промышленной экологии РФ, член-корреспондент Академии военных наук МО РФ, постоянный представитель РФ в Международной сети европейских технических университетов NESEFF, член Союза журналистов Москвы (Москва, Россия)

В. И. ЛЕБЕДЕВ — д. т. н., профессор, заместитель директора института ядерной энергетики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический

университет Петра Великого» (Санкт-Петербург, Россия)

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

Н. Я. о. МАМЕДОВ — к. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Строительство инженерных систем и сооружений», Азербайджанский Архитектурно-строительный Университет (Баку, Азербайджан)

М. Е. МАРЧЕНКО — к. т. н., 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 ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» (Санкт-Петербург, Россия)

М. Е. ОРЛОВ — к. т. н., доцент, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В. И. Шаропова» Ульяновского государственного технического университета (г. Ульяновск, Россия)

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

Ю. А. РАДИН д.т.н., главный специалист в службе вибродиагностики и наладки инженерного управления ПАО «Мосэнерго» (Москва, Россия)

С. М. СЕНДЕРОВ — д. т. н., с.н.с., заместитель директора, заведующий отделом энергетической безопасности ФГБУН Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (Иркутск, Россия)

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

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

В. И. ЩЕРБА — д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Гидромеханика и транспортные машины» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Омск, 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 науки и высшего образования 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».

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

Художественный редактор: Маланин Д. Б. Технический редактор: Кутько Н. Е.  
Подписано в печать 30.09.2024 г. Отпечатано в ООО «Код-Полиграф», 125009, Россия, Москва, пр. Девичьего Поля, д. 4.

Почтовый адрес редакции: 117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6, ООО «НПО «Энергобезопасность»

Телефон: +7 495 655-76-00, +7 495 382-79-74; e-mail: sigma08@sigma08.ru; [www.sigma08.ru](http://www.sigma08.ru)

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

# Scientific and Engineering Journal Safety and Reliability of Power Industry

Volume 17

Nº3

2024

## EDITOR-IN-CHIEF

**Elena N. ARKHIPOVA** — Dr. of Tech. Sc., Honored Power Engineer of Russia, General Director, JSC «Simulators of power plants and networks» (Moscow, Russia)

## SECTION EDITORS

**Aleksandr Y. SHELGINSKY** — Dr. of Tech. Sc., Professor of Heat Power Industry Department, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia) — section «Electric power and heat generation»

**Nataliya D. CHICHIROVA** — full member of the Russian Academy of Natural Sciences, Dr. of Chem. Sc., Professor, head of the Department of Thermal power plants of the «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia) — section «Operation of power plants»

**Wadim STRIELKOWSKI** — Ph.D., University of Cambridge, Judge Business School (Cambridge, England) — section «Power generation in foreign countries»

**Irina G. AKHMETOVA** — Dr. Eng., Vice-rector for research, head of the Department of Economics and Information Technologies, of the «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia) — section «Digital technologies and economy»

**Nikolay N. SHVETS** (PhD (Ec.)), Professor, Head of the World Electric Power Industry Department, MGIMO University of the Russian Federation Ministry of Foreign Affairs — section Energy Related Aspects of International Relations

**Aleksey I. TADZHIBAYEV** — Honoured Power Engineer of the Russian Federation, full member of the Academy of Electrical Engineering Sciences, Doctor of Engineering, Head of FSAEI of Advanced Professional Training «PEIPK» (St. Petersburg, Russia) — section «Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing in Power Engineering»

**Aleksandr Ye. UZHANOV** — Cand. of Sociol. Sc., Associate Professor of World Power Industry Department, International Institute of Energy Policy and Diplomacy, MGIMO of the Russian Federation Foreign Ministry, Associate Member of the Academy of Military Sciences (Moscow, Russia) — «Sociology in Energy Industry»

## EDITORIAL BOARD

**Anton N. VIVCHAR** — Cand. of Geogr., Head of Engineering Directorate, PJSC Mosenergo (Moscow, Russia)

**Alexandr V. VOLKOV** — Dr. Eng., Professor, Head of Department of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines, National Research University MPEI (Moscow, Russia)

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

**Evgeny P. GRABCHAK** — Deputy Minister of the Ministry of Energy of the Russian Federation (Moscow, Russia)

**Aleksandr A. ZHARKOVSKII** — Dr. Eng., Professor, Full Professor of Higher School of Power Engineering, Institute of Energy, «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University» (St. Petersburg, Russia)

**Andrey M. ZAGREBAEV** — Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Head of Department of Cybernetics/ Institute of Cyber Intelligence Systems, National Research Nuclear University MEPhI (Russian Federation, Moscow)

**Ilyas Sh. ZAGRETDINOV** — Cand. Sc. (Eng), Director of JSC «Institute Teploelectroproject» (Moscow, Russia)

**Malik G. ZIGANSHIN** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Nuclear and Thermal Power Plants FGBOU VO «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia)

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

**Ildar M. IBRAGIMOV** — Dr. Eng., Leading Researcher of the Andreev Acoustic Institute (Moscow, Russia)

**Maxim S. IVANITSKY** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Energy Branch of the FGBOU VO «National Research University «MPEI» in Volzhsky (Volzhsky, Russia)

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

**Sergey A. KROPACHEV** — Dr. of Hist. Sc., Rector of the Energy Institute for Advanced Studies of JSC Mosoblenergo (Moscow, Russia)

**Vladimir V. KULICHKIN** — Dr. of Tech. Sc., Full Member of the Russian Federation Academy of Industrial Ecology, Associate Member of the Academy of Military Sciences of the Russian Federation Defense Ministry, Permanent Representative of the Russian Federation at the NESEFF International Network of European Engineering Universities, member of the Union of Journalists of Moscow (Moscow, Russia)

**Valery I. LEBEDEV** — Dr. Eng., professor, Deputy Director of the Nuclear

Power Institute of the «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University» (St. Petersburg, Russia)

**Mikhail Yu. LVOV** — Dr. of Tech. Sc., Adviser to the General Director of United Energy Company JSC (Moscow, Russia)

**Nurmammad Y. MAMMADOV** — professor, head of Department «Construction of engineering systems and facilities», Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Azerbaijan)

**Mikhail E. MARCHENKO** — Cand. of Tech. Sc., 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)

**Mikhail Ye. ORLOV** — Cand. of Eng. Sc., Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation named after V. I. Sharapov of the Ulyanovsk State Technical University (Ulyanovsk, 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)

**Yuri A. RADIN** — Dr. Eng., Chief Specialist, Vibration Diagnostics and Adjustment Service, Engineering Department, Mosenergo PJSC (Moscow, Russia)

**Sergey M. SENDEROV** — Dr. Eng., Vice-director for research, head of Energy Security Department of the Melentiev Energy Systems Institute SB RAS (Irkutsk, Russia)

**Karel FRANA** — Prof. Dr. — Ing. habil, Technical University of Liberec (Liberec, Czech Republic)

**Mikhail I. CHICHINSKIY** — Cand. of Tech. Sc., Inspector General/Head of the Department of technical supervision and audit, PJSC «Federal Grid Company of the Unified Energy System» (Moscow, Russia)

**Victor E. SHERBA** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Hydromechanics and Transport Machines» FGBOU VO «Omsk State Technical University» (Omsk, Russia)

Founder and publisher: Scientific and Production Association «Energobezопасnost».

Frequency of the edition four times a year. Published since 2008.

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

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

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

Artistic editor: Malanin D. B. Technical Editor: Kutko N. E. Signed in the press on September 29, 2024.

Printed in LLC «Code-Poligraf», Proyezd Devich'yego Polya, 4, Moscow, 119121, Russia.

**Mailing address of the editorial office:** NPO «Energobezопасnost» Build. 6, 125 «Zh» Varshavskoye Shosse, Moscow, 117587.

Tel: +7 495 665-76-00, +7 495 382-79-74; e-mail: sigma08@sigma08.ru; [www.sigma08.ru](http://www.sigma08.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

<b>Наумов И. В.</b> К вопросу надежности электропередачи (на примере филиала ПАО «Россети Волги» – «Пензаэнерго»).....	164
<b>Яворовский Ю. В.</b> Повышение энергетической и экологической эффективности инфраструктуры города на основе оптимизации его топливно-энергетического баланса .....	172
<b>Горбунов С. В., Зиганшин М. Г.</b> Создание и исследование численных моделей циклонов с наклонным и горизонтальным входом.....	181
<b>Дудолин А. А., Крашенинников С. М., Мавроди В. П.</b> Применение физико-математического моделирования в образовательном процессе на примере тренажеров электрических станций.....	190
<b>Левин В. М., Гужов Н. П.</b> Ранжирование электросетевых объектов как инструмент выбора системы управления ремонтами.....	195

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

<b>Сандовский А. В., Гаврилов С. Н., Хоменок Л. А., Карпычев А. В., Шорохова З. Ф.</b> Диагностирование кольцевых трещин на валопроводе турбоагрегата.....	206
<b>Тупоногов В. Г., Сесекин А. Н., Болков Я. С.</b> Эксергетический анализ системы теплоснабжения с прогнозной моделью на нейросетевых алгоритмах.....	212

### ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

<b>Бураков И. А., Смирнов К. Ю., Антонов А. Е.</b> О переходе к использованию современных смазочных материалов в системах энергетических объектов .....	224
<b>Никишов К. С., Волков А. В., Рыженков О. В., Дасаев М. Р., Терехова А. А.</b> Оценка влияния интенсификации теплообменных процессов в подогревателях на эффективность энергоблока.....	231
<b>Мостовенко Л. В., Парамонов А. М.</b> Перспективы снижения сопротивления золоулавливающего аппарата .....	236

<b>ЮБИЛЕИ, НАГРАЖДЕНИЯ .....</b>	<b>240</b>
----------------------------------	------------

## CONTENTS

### GENERAL ISSUES OF RELIABILITY AND SAFETY OF ENERGY

<b>Naumov I. V.</b> On the issue of the reliability of power transmission (on the PJSC "Rosseti Volga" – "Penzaenerg" branch example).....	164
<b>Yavorovsky Y. V.</b> Enhancing the energy and environmental efficiency of the city's infrastructure based on optimizing its fuel and energy balance .....	172
<b>Gorbunov S. V., Ziganshin M. G.</b> Creation and research of numerical models of cyclones with inclined and horizontal inlets .....	181
<b>Dudolin A. A., Krashenninnikov S. M., Mavrodi V. P.</b> Application of physical and mathematical modeling in the educational process by the example of power plant simulators.....	190
<b>Levin V. M., Guzhov N. P.</b> Ranking of power grid facilities as a tool for choosing a repair management system.....	195

### DESIGN, RESEARCH, CALCULATIONS

<b>Sandovsky A. V., Gavrilov S. N., Khomenok L. A., Karpychev A. V., Shorokhova Z. F.</b> Diagnosis of ring cracks on the shafting line of a turbo unit.....	206
<b>Tuponogov V. G., Sesekin A. N., Bolkov Ya. S.</b> Exergy Analysis of a District Heating System with a Predictive Model Based on Neural Network Algorithms.....	212

### OPERATIONAL PRACTICE

<b>Burakov I. A., Smirnov K. Y., Antonov A. E.</b> On the transition to the use of modern lubricants in systems of energy facilities .....	224
<b>Nikishov K. S., Volkov A. V., Ryzhenkov O. V., Dasaev M. R., Terekhova A. A.</b> Assessment of influence of intensification of heat exchange processes in heaters on power unit efficiency.....	231
<b>Mostovenko L. V., Paramonov A. M.</b> Prospects for reducing resistance of ash collecting apparatus .....	236