

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

**Бутырин Павел Анфимович**, главный редактор, член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)  
**Анучин Алексей Сергеевич**, доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)  
**Бааке Эгберт**, профессор, Ганноверский Университет им. Лейбница (Ганновер, Германия)  
**Беспалов Виктор Яковлевич**, доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)  
**Вольский Сергей Посифович**, доктор техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)  
**Воропай Николай Иванович**, член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, профессор, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (Иркутск, Россия)  
**Высоцкий Виталий Сергеевич**, доктор техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности (Москва, Россия)  
**Герада Кристофер**, PhD, профессор, Ноттингемский Университет (Ноттингем, Англия)  
**Герасимов Андрей Сергеевич**, кандидат техн. наук, Научно-технический центр единой энергетической системы (Санкт-Петербург, Россия)  
**Двин Бруно**, PhD, профессор, Университет Лоррэйн (Нанси, Франция)  
**Демидович Виктор Болеславович**, доктор техн. наук, профессор, Санкт- Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия)  
**Елистратов Виктор Васильевич**, доктор техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия)  
**Ковалев Константин Львович**, доктор техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)  
**Коган Феликс Лазаревич**, доктор техн. наук, ОАО «Фирма ОРГРЭС» (Москва, Россия)  
**Коровкин Николай Владимирович**, доктор техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия)  
**Коротеев Анатолий Анатольевич**, академик РАН, доктор техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)  
**Корявин Алексей Родионович**, доктор техн. наук, Всероссийский электротехнический институт (Москва, Россия)  
**Красовский Александр Борисович**, доктор техн. наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)  
**Кучеров Юрий Николаевич**, доктор техн. наук, АО «Системный оператор Единой энергетической системы» (Москва, Россия)  
**Лагарьков Андрей Николаевич**, академик РАН, доктор техн. наук, Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН (Москва, Россия)  
**Лоскутов Алексей Борисович**, доктор техн. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)  
**Мошкунов Сергей Игоревич**, доктор техн. наук, Институт электрофизики и электроэнергетики РАН (Санкт-Петербург, Россия)  
**Новиков Николай Леонтьевич**, доктор техн. наук, с.н.с., АО «Научно-технический центр Россети» (Москва, Россия)  
**Раков Владимир Александрович**, PhD, профессор, Университет во Флориде (г. Гейнсвилл, Флорида, США)  
**Рашиди Фархад**, PhD, профессор, Федеральный политехнический институт Лозанны (Лозанна, Швейцария)  
**Серебрянников Сергей Владимирович**, доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)  
**Строев Владимир Андреевич**, доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)  
**Хомич Владислав Юрьевич**, академик РАН, доктор физ.-мат. наук, Институт электрофизики и электроэнергетики РАН (Санкт-Петербург, Россия)  
**Шевцов Даниил Андреевич**, доктор техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)  
**Шувалов Михаил Юрьевич**, доктор техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности (Москва, Россия)

Ответственный секретарь **Е.Н. Соснина**, доктор техн. наук, профессор  
Литературный редактор **Т.П. Александрова**  
Младший редактор **Н.В. Чечунова**  
Компьютерная верстка **М.С. Матвеева**  
Перевод на английский язык **В.И. Филатов**

*Почтовый адрес редакции: 111250 Москва, Красноказарменная ул., 14,  
НИУ «МЭИ», редакция журнала «Электричество»  
Телефон, факс (495) 362-7485  
E-mail: [etr1880@mpei.ru](mailto:etr1880@mpei.ru)  
<http://etr1880.mpei.ru>*

*Полные тексты статей в формате pdf размещены на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ): [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)  
Подписаться на журнал можно на официальном сайте каталога «Пресса России» [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru)  
и на сайте интернет-магазина «Пресса по подписке» [www.akc.ru](http://www.akc.ru). Подписной индекс – 71106*

Подписано в печать 29.11.2021. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Тираж 150 экз.  
Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 8,37. Заказ . Цена свободная.

Свидетельство о регистрации № 0110272 от 8 февраля 1993 г.  
Министерства печати и информации Российской Федерации  
Издатель: НИУ «МЭИ»  
Отпечатано в типографии МЭИ

Theoretical and scientific-practical journal

# ELEKTRICHESTVO

ESTABLISHED IN JULY 1880

**№ 12, 2021**

## FOUNDERS

Russian Academy of Sciences  
(the Division of Power Engineering, Mashinary Construction,  
Mechanical and Control Processes)

## The Editorial Board

- Butyrin Pavel A.**, Editor-in-Chief, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)
- Anuchin Aleksey S.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)
- Baake Egbert**, Professor, Leibniz University of Hannover (Hannover, Germany)
- Bespalov Viktor Ya.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)
- Demidovich Viktor B.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Electrical Engineering University "LETI" (St. Petersburg, Russia)
- Douine Bruno**, PhD, Professor, University of Lorraine (Nancy, France)
- Elistratov Victor V.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University (St. Petersburg, Russia)
- Gerada Christopher**, PhD, Professor, University of Nottingham (Nottingham, U.K.)
- Gerasimov Andrey S.**, Cand. Sci. (Eng.), Scientific and Technical Center of the Unified Power System (St. Petersburg, Russia)
- Khomich Vladislav Yu.**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Institute for Electrophysics and Electric Power Engineering of the RAS (St. Petersburg, Russia)
- Kogan Feliks L.**, Dr. Sci. (Eng.), OJSC «Firm ORGRES» (Moscow, Russia)
- Koroteyev Anatoly A.**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)
- Korovkin Nikolay V.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University (St. Petersburg, Russia)
- Koryavin Aleksey R.**, Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Electrotechnical Institute (Moscow, Russia)
- Kovalev Konstantin L.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)
- Krasovskii Aleksandr B.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University) (Moscow, Russia)
- Kucherov Yury N.**, Dr. Sci. (Eng.), JSC "System Operator of the Unified Energy System" (Moscow, Russia)
- Lagar'kov Andrey N.**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Institute for Theoretical and Applied Electromagnetics of the RAS (Moscow, Russia)
- Loskutov Aleksey B.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (Nizhny Novgorod, Russia)
- Moshkunov Sergey I.**, Dr. Sci. (Eng.), Institute of Electrophysics and Electricity of the RAS (St. Petersburg, Russia)
- Novikov Nikolai L.**, Dr. Sci. (Eng.), Scientific and Technical Center of Rosseti (Moscow, Russia)
- Rachidi Farhad**, PhD, Professor, Federal Polytechnic Institute in Lausanne (Lausanne, Switzerland)
- Rakov Vladimir A.**, PhD, Professor, Florida University's Department for Electrical and Computer Engineering (Florida, USA)
- Serebryannikov Sergej V.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (Moscow, Russia)
- Shevtsov Daniil A.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)
- Shuvalov Michail Yu.**, Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Research, Design and Technological Institute of the Cable Industry (Moscow, Russia)
- Stroev Vladimir A.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (Moscow, Russia)
- Volskiy Sergey I.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)
- Voropay Nikolay I.**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the RAS (Irkutsk, Russia)
- Vysotsky Vitaly S.**, Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Research, Design and Technological Institute of the Cable Industry (Moscow, Russia)

Executive Secretary **E.N. Sosnina**, Dr. Sci. (Eng.), Professor  
Literature Editor **T.P. Aleksandrova**  
Junior Editor **N.V. Chechunova**  
Computer-aided make-up **M.S. Matveeva**  
Translator **V.I. Filatov**

---

**Editorial office address:** NRU «Moscow Power Engineering Institute», Krasnokazarmennaya, 14,  
Moscow, 111250 Russia  
**tel/fax (495) 362-7485**  
**E-mail: [etr1880@mpei.ru](mailto:etr1880@mpei.ru)**  
**<http://etr1880.mpei.ru>**

**Full text articles in PDF format available on the website of the Scientific Electronic Library: [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)**

---

**Publisher of the journal:**  
NRU «Moscow Power Engineering Institute»

**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ****УЧРЕДИТЕЛЬ: РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК (Отделение энергетики, машиностроения, механики  
и процессов управления)****СОДЕРЖАНИЕ**

- Брянцев А.М., Поздняков С.В., Селезнёв Н.А.**  
Магнитно-вентильные управляемые реакторы  
трансформаторного типа с пофазным регулирова-  
нием мощности..... 4
- Ahmed M.K., Osman M.H., Korovkin N.V.** Optimal  
Location and Size of Multiple Renewable Distributed  
Generation Units in Power Systems Using an  
Improved Version of Particle Swarm Optimization.. 15
- Кизеветтер Д.В., Трубин Д.А., Кулкаев А.Е.** Изме-  
рение пробивного напряжения вязких жидкостей. 28
- Ибадуллаев М., Товбаев А.Н., Есенбеков А.Ж.**  
К общей теории анализа субгармонических коле-  
баний в трехфазных феррорезонансных цепях и  
системах ..... 35

**ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

- Бородин Д.А.** К 140-летию Международной  
электрической выставки 1881 года в Париже. Ч. 2.  
Самый понятный урок ..... 45
- Соколова М.В., Темников А.Г., Хренов С.И.** 90 лет  
кафедры «Техника и электрофизика высоких на-  
пряжений» НИУ «МЭИ» ..... 54

**ХРОНИКА**

- Феликс Лазаревич Коган** (к 90-летию со дня рожде-  
ния) ..... 63
- Валерий Александрович Альтов** (к 80-летию со  
дня рождения)..... 64
- Указатель материалов**, опубликованных в журнале  
«Электричество» в 2021 г. .... 65
- Алфавитный указатель** авторов статей..... 71
- Рецензенты** статей, опубликованных в 2021 г. .... 72

**На обложке** – Галерея машин на Международной электрической вы-  
ставке в Париже, источник: Soulages C.-C. Exposition Internationale  
d'Electricité: Galerie des machines. - La lumière électrique, 1882, No. 25,  
24 juin, pp. 587–590.

© «Электричество», 2021

**CONTENTS**

- A.M. Bryantsev, S.V. Pozdniakov, N.A. Seleznev.**  
Magnetic-Valve Controllable Transformer-Type Reac-  
tors with Phase-by-Phase Reactive Power Control ..... 4
- M.K. Ahmed, M.H. Osman, N.V. Korovkin.** Optimal  
Location and Size of Multiple Renewable Distributed  
Generation Units in Power Systems Using an  
Improved Version of Particle Swarm Optimization..... 15
- D.V. Kieseewetter, D.A. Trubin, A.E. Kulkaev.** Viscous  
Liquid Breakdown Voltage Measurements ..... 28
- M. Ibadullaev, A.N. Tovbaev, A.Zh. Esenbekov.** On  
the General Theory for Analysis of Subharmonic  
Oscillations in Three-Phase Ferroresonance Circuits  
and Systems..... 35

**FROM THE HISTORY  
OF ELECTRICAL ENGINEERING**

- D.A. Borodin.** On the 140<sup>th</sup> Anniversary of the  
International Exhibition of Electricity, Paris, 1881.  
Part 2: The Most Understandable Lesson ..... 45
- M.V. Sokolova, A.G. Temnikov, S.I. Khrenov.** The  
NRU MPEI Department of High Voltage Engineering  
and Electrophysics Turns 90 ..... 54

**CRONICLE**

- Feliks Lazarevich Kogan** (to the 90<sup>th</sup> Anniversary of the  
Birth) ..... 63
- Valeriy Aleksandrovich Al'tov** (to the 80<sup>th</sup> Anniversary  
of the Birth) ..... 64
- Index of the Materials** Published in the “Elektrichestvo”  
Journal in 2021 ..... 65
- Alphabetical index** of the authors ..... 71
- Reviewers of articles** published in 2021 ..... 72

**On the Cover** is Gallery of Machines at the International Exhibition of  
Electricity in Paris, Source: Soulages C.-C. Exposition Internationale  
d'Electricité: Galerie des machines. - La lumière électrique, 1882, No. 25,  
24 juin, pp. 587–590.