

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

Бутырин Павел Анфимович, главный редактор, член-корреспондент РАН, НИУ «Московский энергетический институт»  
 Анучин Алексей Сергеевич, доктор технических наук, НИУ «Московский энергетический институт»  
 Бааке Эгберт, профессор, Технический университет Лейбница, Ганновер (Германия)  
 Беспалов Виктор Яковлевич, доктор технических наук, НИУ «Московский энергетический институт»  
 Вольский Сергей Иосифович, доктор технических наук, НИУ «Московский государственный авиационный институт»  
 Воропай Николай Иванович, член-корреспондент РАН, Институт систем энергетики Сибирского отделения РАН (Иркутск)  
 Высоцкий Виталий Сергеевич, доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт кабельной промышленности (Москва)  
 Герада Кристофер, профессор, Университет Ноттингем (Англия)  
 Герасимов Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, АО «Научно-технический центр единой энергетической системы» (С.-Петербург)  
 Двин Бруно, профессор, Университет Лоррэйн (Нанси, Франция)  
 Демидович Виктор Болеславович, доктор технических наук, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
 Елистратов Виктор Васильевич, доктор технических наук, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
 Ковалев Константин Львович, доктор технических наук, НИУ «Московский государственный авиационный институт»  
 Коган Феликс Лазаревич, доктор технических наук, ОАО «Фирма ОРГРЭС» (Москва)  
 Коровкин Николай Владимирович, доктор технических наук, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
 Коротеев Анатолий Анатольевич, академик РАН, НИУ «Московский государственный авиационный институт»  
 Корявин Алексей Родионович, доктор технических наук, Всероссийский электротехнический институт (Москва)  
 Красовский Александр Борисович, доктор технических наук, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
 Кучеров Юрий Николаевич, доктор технических наук, ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы» (Москва)  
 Лагарьков Андрей Николаевич, академик РАН, Институт теоретической и прикладной электродинамики (Москва)  
 Лоскутов Алексей Борисович, доктор технических наук, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
 Мошкунов Сергей Игоревич, член-корреспондент РАН, Институт электрофизики и электроэнергетики РАН (Москва)  
 Новиков Николай Леонтьевич, доктор технических наук, ОАО «Научно-технический центр ФСК ЕЭС» (Москва)  
 Раков Владимир, профессор, Университет во Флориде (США)  
 Рашиди-Хаери Фархад, профессор, Федеральный политехнический институт Лозанны (Швейцария)  
 Серебрянников Сергей Владимирович, доктор технических наук, НИУ «Московский энергетический институт»  
 Строев Владимир Андреевич, доктор технических наук, НИУ «Московский энергетический институт»  
 Хомич Владислав Юрьевич, академик РАН, Институт электрофизики и электроэнергетики РАН (Москва)  
 Шакарян Юрий Гевондович, доктор технических наук, ОАО «Научно-технический центр ФСК ЕЭС» (Москва)  
 Шевцов Даниил Андреевич, доктор технических наук, НИУ «Московский государственный авиационный институт»  
 Шувалов Михаил Юрьевич, доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт кабельной промышленности (Москва)

Заместитель главного редактора **Б.Н. Евсеев**  
 Ответственный секретарь **Л.С. Кудинова**  
 Литературный редактор **Т.П. Александрова**  
 Младший редактор **Н.В. Чечунова**  
 Компьютерная верстка **Н.Н. Мерзляков**  
 Перевод на английский язык **В.И. Филатов**

---

**Почтовый адрес редакции:** 111250 Москва, Красноказарменная ул., 14,  
 НИУ «МЭИ», редакция журнала «Электричество»  
**Адрес редакции:** Москва, НИУ «МЭИ», каф. ТОЭ, первый этаж, ком. 3-114  
**Телефон, факс (495) 362-7485**  
**E-mail: [etr1880@mail.ru](mailto:etr1880@mail.ru); [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)**

---

Подписано в печать 12.05.2020. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$ . Тираж 190 экз.  
 Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 8,5. 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

**№ 5, 2020**

## FOUNDERS

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

## THE EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL ELEKTRICHESTVO

- Butyrin Pavel A.**, Editor-in-Chief, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, NRU «Moscow Power Engineering Institute»
- Anuchin Aleksey S.**, Dr. Sci. (Eng.), NRU «Moscow Power Engineering Institute»
- Baake Egbert**, Professor at the Gottfried Wilhelm Leibniz University of Hannover (Germany)
- Bespalov Viktor Ya.**, Dr. Sci. (Eng.), NRU «Moscow Power Engineering Institute»
- Volskiy Sergey I.**, Dr. Sci. (Eng.), NRU «Moscow State Aviation Institute»
- Voropay Nikolay I.**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Energy Systems Institute (Irkutsk)
- Vysotsky Vitaly S.**, Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Research Institute of Cable Industry (Moscow)
- Gerada Christopher**, Professor, University of Nottingham (England)
- Gerasimov Andrey S.**, Cand. Sci. (Eng.), JSC «Scientific and Technical Center of the Unified Energy System» (St. Petersburg)
- Douine Bruno**, Professor of the University of Lorraine (France)
- Demidovich Viktor B.** Dr. Sci. (Eng.), St. Petersburg State Electrical Engineering University
- Elistratov Victor V.**, Dr. Sci. (Eng.), Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
- Kovalev Konstantin L.**, Dr. Sci. (Eng.), NRU «Moscow State Aviation Institute»
- Kogan Feliks L.**, Dr. Sci. (Eng.), OJSC «Firm ORGRES» (Moscow)
- Korovkin Nikolay V.**, Dr. Sci. (Eng.), Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
- Koroteyev Anatoly A.**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, NRU «Moscow Aviation Institute»
- Koryavin Aleksey R.**, Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Electrotechnical Institute (Moscow)
- Krasovskiy Aleksandr B.**, Dr. Sci. (Eng.), Bauman Moscow State Technical University
- Kucherov Yury N.**, Dr. Sci. (Eng.), JSC «System Operator of the Unified Energy System» (Moscow)
- Lagar'kov Andrey N.**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Institute Theoretical and Applied Electrodynamics (Moscow)
- Loskutov Aleksey B.**, Dr. Sci. (Eng.), Nizhny Novgorod State Technical University
- Moshkunov Sergey I.**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Electrophysics and Electric Power Engineering RAS (Moscow)
- Novikov Nikolai L.** Dr. Sci. (Eng.), JSC «Scientific-Technical Center of the Unified Energy System Federal Network Company» (Moscow)
- Rakov Vladimir**, Professor at the Florida University's Department for Electrical and Computer Engineering (USA)
- Rachidi-Haeri F.** Professor, Federal Polytechnic Institute in Lausanne (Switzerland)
- Serebryannikov Sergey V.**, Dr. Sci. (Eng.), NRU «Moscow Power Engineering Institute»
- Stroev Vladimir A.**, Dr. Sci. (Eng.), NRU «Moscow Power Engineering Institute»
- Khomich Vladislav Yu.**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Institute for Electrophysics and Electric Power Engineering RAS (Moscow)
- Shakaryan Yury G.**, Dr., Sci. (Eng.), JSC «Scientific-Technical Center of the Unified Energy System Federal Network Company» (Moscow)
- Shevtsov Daniil A.**, Dr. Sci. (Eng.), NRU «Moscow State Aviation Institute»
- Shuvalov Mikhail Yu.**, Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Research Institute of Cable Industry (Moscow)

Deputy Editor-in-Chief **B.N. Yevseyev**  
 Executive Secretary **L.S. Kudinova**  
 Literature Editor **T.P. Aleksandrova**  
 Junior Editor **N.V. Chechunova**  
 Computer-aided make-up **N.N. Merzlyakov**  
 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@mail.ru](mailto:etr1880@mail.ru); [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»*

ИЗДАЕТСЯ С ИЮЛЯ 1880 ГОДА

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

5  
МАЙ  
2020

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УЧРЕДИТЕЛЬ: РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК (Отделение энергетики, машиностроения, механики  
и процессов управления)

СОДЕРЖАНИЕ	CONTENTS
Коган Ф.Л. Повышение эффективности стабилизации режима при возмущениях в энергосистеме . . . . . 4	F.L. Kogan, Improving Power System Stabilization in Response to Grid Disturbances . . . . . 4
Лоскутов А.А., Пелевин П.С., Митрович М. Разработка логической части интеллектуальной многопараметрической релейной защиты . . . . . 12	A.A. Loskutov, P.S. Pelevin, M. Mitrovic, Development of the Logic Part for Intelligent Multiparametric Relay Protection . . . . . 12
Ларин В.С., Матвеев Д.А., Волков А.Ю. Интерпретация частотных характеристик силовых трансформаторов с применением матрицы проводимостей обмоток . . . . . 19	V.S. Larin, D.A. Matveyev, A.Yu. Volkov, Interpretation of Power Transformer Frequency Responses Using the Matrix of Winding Admittances . . . . . 19
Борисов Р.К., Жуликов С.С., Хренов С.И., Турчанинова Ю.С., Кошелев М.А., Белоусов С.В., Макуха И.С., Трофимов О.Ю., Ильина Е.В. Разработка стенда демонстрации поражения человека электрической дугой при проколе кабельной линии 10 кВ. . . . . 26	R.K. Borisov, S.S. Zhulikov, S.I. Khrenov, Yu.S. Turchaninova, M.A. Koshelev, S.V. Belousov, I.S. Makukha, O.Yu. Trofimov, Ye.V. Il'ina, Development of a Stand to Demonstrate Human Injury by Electric Arc Caused by Puncturing a 10 kV Cable Line. . . . . 26
Белова О.С., Темников А.Г., Черненский Л.Л., Орлов А.В., Лысов Н.Ю., Кившар Т.К., Журавкова Д.С. Исследование специфики спектральных характеристик электромагнитного излучения разряда между искусственным грозовым облаком и землей . . . . . 34	O.S. Belova, A.G. Temnikov, L.L. Chernensky, A.V. Orlov, N.Y. Lysov, T.K. Kivshar, D.S. Zhuravkova, Studying the Spectral Characteristics of Electromagnetic Radiation Produced by Discharge between an Artificial Thundercloud and Ground. . . . . 34
Дежин Д.С., Чикучинов Е.М. Разработка авиационного синхронного генератора мощностью 250 кВА с переменной частотой вращения . . . . . 45	D.S. Dezhin, Ye.M. Chikuchinov, Development of a 250 kVA Aircraft Synchronous Generator with a Variable Rotation Frequency . . . . . 45
Иванов А.С., Шитов Е.М., Мильшин А.Ю., Князев В.О., Сидоров А.О. Численное моделирование динамического режима работы линейного электромагнитного двигателя лабораторного шейкера . . . . . 54	A.S. Ivanov, Ye.M. Shitov, A.Yu. Mil'shin, V.O. Knyazev, A.O. Sidorov, Numerical Simulation of the Dynamic Operation Mode of a Laboratory Shaker Linear Electromagnetic Motor . . . . . 54
Занегин С.Ю., Зубко В.В., Иванов Н.С. Анализ потерь в обмотках и стопках из ВТСП лент второго поколения . . . . . 61	S.Yu. Zanegin, V.V. Zubko, N.S. Ivanov, Shishov D., AC loss analysis in 2G HTS coils and their parts . . . . . 61