

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

**Бутырин Павел Анфимович** – *главный редактор*, член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва

**Анучин Алексей Сергеевич** – доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва

**Бааке Эгберт** – профессор, Ганноверский Университет им. Лейбница, Ганновер, Германия

**Беспалов Виктор Яковлевич** – доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва

**Вольский Сергей Иосифович** – доктор техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва

**Высоцкий Виталий Сергеевич** – доктор техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности, Москва

**Двин Бруно** – PhD, профессор, Университет Лоррэйи, Нанси, Франция

**Демидович Виктор Болеславович** – доктор техн. наук, профессор, ООО «Русские технологии индукционного нагрева», Санкт-Петербург

**Елистратов Виктор Васильевич** – доктор техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

**Илюшин Павел Владимирович** – доктор техн. наук, Институт энергетических исследований РАН, Москва

**Ковалев Константин Львович** – доктор техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва

**Коган Феликс Лазаревич** – доктор техн. наук, НТЦ Россети ФСК ЕЭС, Москва

**Коровкин Николай Владимирович** – доктор техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

**Коротеев Анатолий Анатольевич** – академик РАН, доктор техн. наук, профессор, АО ГИЦ РФ «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», Москва

**Короткевич Михаил Андреевич** – доктор техн. наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Минск, Белоруссия

**Корявин Алексей Родионович** – доктор техн. наук, с.н.с., РФЯЦ-ВНИИТФ, Москва

**Красовский Александр Борисович** – доктор техн. наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва

**Лагарьков Андрей Николаевич** – академик РАН, доктор техн. наук, Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, Москва

**Лоскутов Алексей Борисович** – доктор техн. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород

**Мошкунев Сергей Игоревич** – член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, Институт электрофизики и электроэнергетики РАН, Санкт-Петербург

**Назарычев Александр Николаевич** – доктор техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

**Негвницкий Михаил Владимирович** – PhD, профессор, Университет Тасмании, Австралия

**Подковальников Сергей Викторович** – доктор техн. наук, с.н.с., Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск

**Раков Владимир Александрович** – PhD, профессор, Университет во Флориде, Гейнсвилл, США

**Серебрянников Сергей Владимирович** – доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва

**Соснина Елена Николаевна** – доктор техн. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород

**Сяо Ли** – доктор техн. наук, профессор, Институт электротехники КАН, Пекин, Китай

**Темников Александр Георгиевич** – канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва

**Хомич Владислав Юрьевич** – академик РАН, доктор физ.-мат. наук, Институт электрофизики и электроэнергетики РАН, Санкт-Петербург

**Шувалов Михаил Юрьевич** – доктор техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности, Москва

Ответственный секретарь **Е.Н. Соснина**, доктор техн. наук, профессор

Литературный редактор **Т.П. Александрова**

Технический редактор **М.В. Матвеев**

Младший редактор **Н.В. Чечунова**

Компьютерная верстка **М.С. Матвеева**

Перевод на английский язык **В.И. Филатов**

---

**Почтовый адрес редакции:** 111250 Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, 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 28.04.2023. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Тираж 135 экз.  
Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 10,23. 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, 2023**

## 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 RAS, Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow
- Anuchin Aleksey S.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow
- Baake Egbert** – Professor, Leibniz University of Hannover, Germany
- Bespalov Viktor Ya.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow
- Demidovich Viktor B.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, LLC "Russian induction heating technologies", St. Petersburg
- 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
- Ilyushin Pavel V.** – Dr. Sci. (Eng.), Institute of Energy Research of the RAS, Moscow
- Khomich Vladislav Yu.** – Full Member of the RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Institute for Electrophysics and Electric Power Engineering of the RAS, St. Petersburg
- Kogan Feliks L.** – Dr. Sci. (Eng.), STC Rosseti FGT UES, Moscow
- Koroteyev Anatoly A.** – Full Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Professor, JSC SST RF “M.V. Keldysh Research Center”, Moscow
- Korotkevich Mikhail A.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus
- Korovkin Nikolay V.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University, St. Petersburg
- Koryavin Aleksey R.** – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, RFNC-VNIITF, Moscow
- Kovalev Konstantin L.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow
- Krasovskiy Aleksandr B.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow
- Lagar’kov Andrey N.** – Full Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Institute for Theoretical and Applied Electromagnetics of the RAS, Moscow
- Loskutov Aleksey B.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod
- Moshkunov Sergey I.** – Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Institute of Electrophysics and Electricity of the RAS, St. Petersburg
- Nazarychev Alexander N.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg
- Negnevitsky Mikhail V.** – PhD, Professor, University of Tasmania, Australia
- Podkoval’nikov Sergey V.** – Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the RAS, Irkutsk
- Rakov Vladimir A.** – PhD, Professor, Florida University, USA
- Serebryannikov Sergey V.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow
- Sosnina Elena N.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod
- Temnikov Aleksander G.** – Cand. Sci. (Eng.), Docent, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow
- Shuvalov Michail Yu.** – Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Research, Design and Technological Institute of the Cable Industry, Moscow
- Volskiy Sergey I.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow
- Vysotsky Vitaly S.** – Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Research, Design and Technological Institute of the Cable Industry, Moscow
- Xiao Liye** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Electrical Engineering, CAS, Beijing, China

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

---

*Editorial office address: NRU «Moscow Power Engineering Institute», Krasnokazarmennaya, 14,  
Ext. Ter. G. Municipal District of Lefortovo, 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

### CONTENTS

<b>Коган Ф.Л.</b> Стабилизация режимов современной многомашинной энергосистемы после больших возмущений.....	4	<b>F.L. Kogan.</b> Stabilizing the Operation Modes of a Modern Multi-Machine Power System after Large Disturbances .....	4
<b>Поляков И.Д., Паздерин А.В., Бартоломей П.И.</b> Способы использования синхронизированных векторных измерений в задаче оценивания состояния электрической сети.....	14	<b>I.D. Polyakov, A.V. Pazderin, P.I. Bartolomey.</b> Ways of Using Phasor Measurements in Power System State Estimation .....	14
<b>Гайсин Б.М., Шахмаев И.З., Илюшин П.В., Рабинович М.А.</b> О влиянии организационно-технических мероприятий на каскадное развитие аварий в электроэнергетических системах с неоднородными параметрами .....	24	<b>B.M. Gaysin, I.Z. Shahmaev, P.V. Ilyushin, M.A. Rabinovich.</b> On the Influence of Organizational and Technical Measures on the Cascade Evolvement of Accidents in Electric Power Systems with Heterogeneous Parameters.....	24
<b>Киншт Н.В., Петрунько Н.Н.</b> Особенности релаксационного процесса в $RC$ -цепи при воздействии синусоидального напряжения.....	38	<b>N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko.</b> Features of the Relaxation Process in an RC Circuit under the Influence of a Sinusoidal Voltage.....	38
<b>Каземирова Ю.К., Анучин А.С., Гришин С.Э., Кулик Е.С., Балашенко Н.Г., Бурмистров А.А.</b> Выравнивание температуры силовых модулей низковольтной ячейки многоуровневого преобразователя .....	44	<b>Yu.K. Kazemirova, A.S. Anuchin, S.E. Grishin, E.S. Kulik, N.G. Balashenko, A.A. Burmistrov.</b> Temperature Equalization of a Multilevel Converter's Low-Voltage Cell Power Modules .....	44
<b>Шевцов Д.А., Модестов К.А., Тихонов Ф.В., Мананникова Н.Г.</b> Однотактный прямо-обратноходовой стабилизированный преобразователь постоянного напряжения. Ч.1 Силовой каскад преобразователя .....	55	<b>D.A. Shevtsov, K.A. Modestov, F.V. Tihonov, N.G. Mannnikova.</b> Single-Ended Forward-Flyback Stabilized DC-DC Voltage Converter. Part. 1: Converter's Power Stage .....	55
<b>Зубков Ю.В., Иванников Ю.Н.</b> Оценка механических напряжений ротора и электромагнитных показателей электрической машины с постоянными магнитами....	62	<b>Zubkov Yu.V., Ivannikov Yu.N.</b> Evaluation of the Rotor Mechanical Stresses and Electromagnetic Parameters of a Permanent Magnet Electric Machine .....	62
<b>Лютикова М.Н., Артемов А.М., Коновалов А.А., Ридель А.В.</b> Применение смесей трансформаторного масла и биоразлагаемых эфиров в качестве изоляции высоковольтного оборудования.....	72	<b>M.N. Lyutikova, A.M. Artemov, A.A. Konovalov, A.V. Ridel'.</b> Application of Transformer Oil and Biodegradable Ester Mixtures as Insulation for High-Voltage Equipment .....	72
<b>ХРОНИКА</b>		<b>CRONICLE</b>	
<b>К 90-летию ОРГРЭС</b> .....	84	<b>To the 90<sup>th</sup> anniversary of ORGRES</b> .....	84
<b>Петр Иванович Бартоломей</b> (к 85-летию со дня рождения) .....	88	<b>Petr Ivanovich Bartolomey</b> (to the 85 <sup>th</sup> Anniversary of the Birth) .....	88

На обложке – Боевые электрические фонари на крейсере “Память Меркурия» (картина И.К. Айвазовского (по фотографии С.Д. Лаптева)).

Источник: *Всемирная иллюстрация*, 1883, № 776, с. 396.

В сопроводительной статье к иллюстрации, опубликованной 140 лет назад, пояснялось, что луч прожектора крейсера благодаря большой силе света в 4–5 тыс. свечей и устройству рефлектора может светить вдаль до 8 верст. Особенность рефлектора состояла в параллельности лучей. Прожектора устанавливались на мачтах и регулировались матросами.

On the Cover is Combat electric lights on the cruiser "Memory of Mercury" (painting by I.K. Aivazovsky (a photo by S.D. Laptev)).

Source: *Vsemirnaya illyustratsiya – in Russ. (World Illustration)*, 1883, No. 776, p. 396.

In the accompanying article to the illustration published 140 years ago, it was explained that the beam of the cruiser's searchlight, thanks to the large luminous intensity of 4-5 thousand candles and the reflector device, can shine into the distance up to 8 versts. The peculiarity of the reflector was the parallelism of the rays. Searchlights were mounted on masts and adjusted by sailors.