

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, Ганновский 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 Лоррейн, 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 ГНЦ 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

Мошкунов 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

Негвиевский 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

<http://etr1880.mpei.ru>

Полные тексты статей в формате pdf размещены на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ): www.elibrary.ru

**Подписаться на журнал можно на официальном сайте каталога «Пресса России» www.pressa-rf.ru
и на сайте интернет-магазина «Пресса по подписке» www.akc.ru. Подписной индекс – 71106**

Подписано в печать 31.03.2023. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$. Тираж 135 экз.
Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 9,3. 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

№ 4, 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

<http://etr1880.mpei.ru>

Full text articles in PDF format available on the website of the Scientific Electronic Library: 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

Академии электротехнических наук Российской Федерации (АЭН РФ) – 30 лет.....	4	Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation (AES RF) has been 30 years	4
Аксаева Е.С., Глазунова А.М. Выбор стратегии управления спросом для эффективного функционирования активного энергетического комплекса ...	6	E.S. Aksaeva, A.M. Glazunova. Selecting a Demand Management Strategy for Efficient Operation of a Commercial and Industrial Microgrid.....	6
Портной Ю.Т., Авдеев А.С., Володин Е.В., Рогоза А.В., Рожков Д.В. Автономная электроэнергетическая система на основе синхронного генератора с постоянными магнитами	17	Yu.T. Portnoy, A.S. Avdeev, E.V. Volodin, A.V. Rogozha, D.V. Rozhkov. An Autonomous Electric Power System with a Permanent Magnet Synchronous Generator	17
Машрапов Б.Е. Дифференциально-фазная защита параллельных линий электропередачи.....	29	B.E. Mashrapov. Phase Comparison Protection of Parallel Power Lines.....	29
Лукин А. Е., Лукичев Д.В., Демидова Г.Л. Математическая модель ветроэнергостановки на эффекте Магнуса	35	A.E. Lukin, D.V. Lukichev, G.L. Demidova. A Magnus Wind Turbine Mathematical Model.....	35
Рассудов Л.Н., Балковой А.П., Тяпкин М.Г., Тяпкин Г.М., Толстых О.А. Разработки опытных образцов автоматических транспортных линий с прямым электроприводом	44	L.N. Rassudov, A.P. Balkovoy, M.G. Tyapkin, G.M. Tyapkin, O.A. Tolstyh. Developments of Prototype Automatic Transportation Lines with a Direct Electric Drive.....	44
Демидович В.Б. Цифровые двойники процессов индукционного нагрева в металлургической промышленности.....	55	V.B. Demidovich. Digital Twins of Induction Heating Processes in the Metallurgical Industry	55
Храмшин В.Р., Зинченко М.А., Логинов Б.М., Карандаев А.С. Способ управления электроприводами клетки толстолистового стана в режиме асимметричной прокатки головной части раската	61	V.R. Hramshin, M.A. Zinchenko, B.M. Loginov, A.S. Karandaev. Plate Mill Stand Electric Drive Control in Asymmetrical Rolling Mode of the Strip Plate Head	61
Плотников С.М., Щеголева Т.В. Уточнение коэффициента Штейнмеца для стали сердечника трансформатора.....	73	S.M. Plotnikov, T.V. Shchegoleva. Refinement of the Steinmetz Coefficient for the Transformer Core Steel	73
ХРОНИКА		CRONICLE	
Виталий Николаевич Боронин (Некролог)	79	Vitaly Nikolaevich Boronin (Obituary)	80

На обложке – Приготовления к коронации. Генеральная репетиция электрического освещения купола и колокольни Ивана Великого в первый день Пасхи (с наброска А. Янова, рисунок К. Брожа).

Источник: *Всемирная иллюстрация*, 1883, № 746, с. 348–350.

Во время торжеств по случаю коронации императора Александра III и его супруги Марии Фёдоровны в 1883 г. Москва была украшена «роскошным, невиданным доселе образом», а освещение Кремля представляло собой по тем временам нечто совершенно грандиозное. В ночь на 17 апреля 1883 г. состоялась «генеральная репетиция» иллюминации Ивана Великого, которая, однако, прошла не совсем удачно: не все лампы горели в полный накал. Этот эпизод отражен на гравюре в апрельском номере «Всемирной иллюстрации», где видно, что ярко сияют только купола, а сама башня освещена неравномерно. За неделю до коронации прошла еще одна «генеральная проба», на этот раз все завершилось удачно.

Журнал «Электричество» в конце 1883 г. писал: «Из электрической иллюминации, бесспорно, первое место занимала работа по освещению лампами накаливания колокольни Ивана Великого как по грандиозности устройства, так и по техническим трудностям, которые пришлось преодолеть».

© «Электричество», 2023

On the Cover is Preparations for the coronation. The dress rehearsal of the electric lighting of the dome and Ivan the Great bell tower on the first day of Easter (a sketch by A. Janova, drawing by K. Brozh).

Source: *Vsemirnaya illyustratsiya – in Russ. (World Illustration)*, 1883, No. 746, pp. 348–350.

During the celebrations on the occasion of the coronation of Emperor Alexander III and his wife Maria Feodorovna in 1883, Moscow was decorated in a "magnificent, hitherto unseen way", and the lighting of the Kremlin was something absolutely grandiose at that time. On the night of April 17, 1883, a "dress rehearsal" of the illumination of Ivan the Great took place, which, however, was not entirely successful: not all the lamps were burning at full intensity. This episode is reflected in the engraving in the April issue of the World Illustration, where it is clear that only the domes shine brightly, and the tower itself is illuminated unevenly. A week before the coronation, another "general test" took place, this time everything ended successfully.

The "Electricity" journal at the end of 1883 wrote: "Of the electric illumination, undoubtedly, the first place was occupied by the work on lighting the bell tower of Ivan the Great with incandescent lamps, both in terms of the grandiosity of the device and the technical difficulties that had to be overcome".