

## 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 Иосифович**, доктор техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, 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 (Нижегород, Россия)

**Мошкунцов Сергей Игоревич**, член-корреспондент РАН, 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**

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 29.03.2022. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Тираж 145 экз.  
Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 9,77. 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, 2022**

## 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.**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, 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)
- 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**  
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»

ИЗДАЕТСЯ С ИЮЛЯ 1880 ГОДА

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

4  
АПРЕЛЬ  
2022

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

Корявин А.Р., Волкова О.В. Оценка влияния высоты и взаимного расположения составных элементов опорной изоляции на ее электрическую прочность.	4
Суворов А.А., Аскаров А.Б., Андреев М.В., Бай Ю.Д., Рудник В.Е. Система автоматического управления силовым преобразователем на основе свободно конфигурируемой структуры виртуального синхронного генератора	15
Мыщык Г.С., Со Не Не Хейн, Воронцов К.А. Структурно-алгоритмический синтез трёхфазных тяговых инверторов напряжения	27
Сафаров Х.С., Суюнов А.А., Бабаев О.Э., Сайфиев С.Э. О выборе численных методов интегрирования уравнений переходных процессов в электроэнергетических системах	40
Пенин А.А. Применение нейронной сети для расчета сопротивления нагрузок с учетом инвариантных свойств соотношения вход-выход многополосников	47
Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В. Подход к проектированию статорных обмоток мощных ветрогенераторов	59
Кириллов В.Ю., Жуков П.А., Торлупа А.А. Применение радиопоглощающих материалов для ослабления высокочастотных помех в электрических цепях электротехнических комплексов летательных аппаратов	66
Туранов А.Н. Анализ методов диагностики доли ароматических групп в составе трансформаторных масел	72

A.R. Koryavin, O.V. Volkova. Assessment of the Effect the Height and Relative Position of Support Insulation Components Have on the Insulation Electrical Strength	4
A.A. Suvorov, A.B. Askarov, M.V. Andreev, Yu.D. Bay, V.E. Rudnik. An Automatic Control System of a Power Converter Based on a Freely Configurable Virtual Synchronous Generator Structure	15
G.S. Mytsyk, Soe Nyi Nyi Hein, K.A. Vorontsov. Structural and Algorithmic Synthesis of Three-Phase Traction Voltage Inverters	27
Kh.S. Safarov, A.A. Suyunov, O.E. Babayev, S.E. Sayfiyev. On the Choice of Methods for Numerically Integrating the Equations of Transients in Electric Power Systems	40
A.A. Penin. Neural Network Based Calculation of Load Resistances Taking into Account the Multiport Input-to-Output Ratio Invariant Properties	47
V.N. Antipov, A.D. Grozov, A.V. Ivanova. An Approach to Designing the Stator Windings of High-Capacity Wind Generators	59
V.Yu. Kirillov, P.A. Zhukov, A.A. Torlupa. Application of Radar-Absorbing Materials for Attenuating High-Frequency Interference in the Electrical Circuits of Aircraft Electrical Systems	66
A.N. Turanov. Analysis of Methods for Diagnosing the Aromatic Groups Fraction in Transformer Oils	72

## CRONICLE

## ХРОНИКА

Владислав Юрьевич Хомич (к 70-летию со дня рождения)	78
Поздравляем коллег с присуждением премии им. П.Н. Яблочкова!	80
Поздравляем Дмитрия Анатольевича Бородин с премией АЭН РФ!	81
Николай Иванович Воропай (Некролог)	83

Vladislav Yur'evich Homich (to the 70 <sup>th</sup> Anniversary of the Birth)	78
Congratulations to Our Colleagues on the Award of the P.N. Yablochkov Prize!	80
Congratulations to Dmitry Anatolyevich Borodin on the Award of the AEN of the Russian Federation!	81
Nikolay Ivanovich Voropay (Obituary)	83

На обложке – Освещение П.Н. Яблочковым железнодорожного пути перед царским поездом. Гравюра Ж.-Д. Фера. Источник: **Figuiet L.** Les Nouvelles Conquêtes de la science. L'Électricité. Paris: Librairie illustrée, 1884, 644 p.

В начале марта 1874 г. российский император Александр II отправился в свою крымскую резиденцию. П.Н. Яблочков предложил на головном фанаре царского поезда применить дуговой электрический светильник с регулятором Фуко – самую лучшую лампу на тот момент. Управлял светом сам Яблочков. Иллюстрация символична: луч прожектора, рассекающий тьму, поворот дороги и телеграфные провода на столбах вдоль стальной колес. Все это знаменует переломный момент в практическом освоении электричества – от телеграфной связи к электрическому освещению.

© «Электричество», 2022

On the Cover is P.N. Yablochkov's lighting of the railway track in front of the Tsar's train. Engraving by Jules-Descartes Férat. Source: **Figuiet L.** Les Nouvelles Conquêtes de la science. L'Électricité. Paris: Librairie illustrée, 1884, 644 p.

At the beginning of March 1874, the Russian Emperor Alexander II went to his Crimean residence. P.N. Yablochkov proposed to use an electric arc lamp with a Foucault regulator on the head lamp of the tsar's train – the best lamp at that time. Yablochkov himself controlled the light. The illustration is symbolic: a searchlight beam cutting through the darkness, a turn of the road and telegraph wires on poles along a steel track. All this marks a turning point in the practical development of electricity – from telegraphic communication to electric lighting.