

# ВЕСТНИК



**ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**2021  
Т. 21, № 2**

ISSN 1990-8512 (Print)  
ISSN 2409-1057 (Online)

**СЕРИЯ**

**«ЭНЕРГЕТИКА»**

Решением ВАК России включен в Перечень рецензируемых научных изданий

**Учредитель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»**

Журнал освещает актуальные теоретические и практические проблемы энергетики и электротехники, результаты научно-исследовательских работ, передовой опыт, определяющий направление и развитие научных исследований, публикует материалы научных конференций и совещаний.

Основной целью журнала является консолидация сообщества ученых и практиков, способствование в формировании и развитии наиболее перспективных направлений исследовательской практики, представление информации о научных исследованиях и достижениях.

**Редакционная коллегия:**

**Радионов А.А.**, д.т.н., проф. (*главный редактор*)  
(Челябинск)

**Функ Т.А.**, к.т.н., доц. (*ответственный секретарь*)  
(Челябинск)

**Редакционный совет:**

**Абрамович Б.Н.**, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Агапитов Е.Б.**, д.т.н., доц. (Магнитогорск)

**Алюков С.В.**, д.т.н., доц. (Челябинск)

**Беспалов В.Я.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Браславский И.Я.**, д.т.н., проф. (Екатеринбург)

**Бродов Ю.М.**, д.т.н., проф. (Екатеринбург)

**Бутырин П.А.**, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН (Москва)

**Валеев Р.Г.**, к.т.н., доц. (Челябинск)

**Воронин С.Г.**, д.т.н., проф. (Челябинск)

**Ганджа С.А.**, д.т.н., проф. (Челябинск)

**Гладышев С.П.**, д.т.н., проф. (Дирборн, США)

**Гольдштейн М.Е.**, к.т.н., проф. (Челябинск)

**Гордон Я.**, Ph.D. (Миссиссога, Канада)

**Григорьев М.А.**, д.т.н., доц. (Челябинск)

**Домрачев В.Г.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Дудкин М.М.**, д.т.н., доц. (Челябинск)

**Исмагилов Ф.Р.**, д.т.н., проф. (Уфа)

**Карандаев А.С.**, д.т.н., проф. (Челябинск)

**Кирпичникова И.М.**, д.т.н., проф.

**Кодкин В.Л.**, д.т.н., проф. (Челябинск)

**Козярук А.Е.**, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Колганов А.Р.**, д.т.н., проф. (Иваново)

**Корнилов Г.П.**, д.т.н., проф. (Магнитогорск)

**Куликова Л.В.**, д.т.н., проф., чл.-корр. САН ВШ  
(Барнаул)

**Лятхер В.М.**, д.т.н., проф. (Кливленд, США)

**Мешеряков В.Н.**, д.т.н., проф. (Липецк)

**Пятибратов Г.Я.**, д.т.н., проф. (Новочеркасск)

**Резник Л.Ф.**, Ph.D. (Ришон-ле-Цион, Израиль)

**Сарваров А.С.**, д.т.н., проф. (Магнитогорск)

**Тума И.**, д.т.н., проф. (Прага, Чешская Республика)

**Торопов Е.В.**, д.т.н., проф. (Екатеринбург)

**Фёдоров О.В.**, д.т.н., проф. (Нижний Новгород)

**Хохлов Ю.И.**, д.т.н., проф. (Челябинск)

**Хусаинов Ш.Н.**, д.т.н., проф. (Челябинск)

**Шевырёв Ю.В.**, д.т.н., доц. (Москва)



# BULLETIN

OF THE SOUTH URAL  
STATE UNIVERSITY  
SERIES

2021  
Vol. 21, no. 2

## “POWER ENGINEERING”

ISSN 1990-8512 (Print)  
ISSN 2409-1057 (Online)

---

Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta.  
Seriya “Energetika”

---

### South Ural State University

The journal covers urgent theoretical and practical problems of power engineering, results of research work, accumulated experience setting directions and development of scientific research in power engineering, publishes materials of scientific conferences and meetings, information on scientific work in higher educational institutions.

The main goal of the journal is consolidation of scientific and industrial communities, promotion and development of the most promising areas of research practice, presentation information on scientific research and achievements.

#### Editorial Board:

**Radionov A.A.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof. (*editor-in-chief*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Funk T.A.**, Cand. of Sci. (Eng.), Ass. Prof. (*executive secretary*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

#### Editorial Council:

**Abramovich B.N.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation  
**Agapitov E.B.**, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation  
**Aliukov S.V.**, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Bespalov V.Ya.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russian Federation  
**Braslavskii I.Ya.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ural Power Engineering Institute, Ekaterinburg, Russian Federation  
**Brodov Yu.M.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ural Power Engineering Institute, Ekaterinburg, Russian Federation  
**Butyrin P.A.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russian Federation  
**Valeev R.G.**, Cand. of Sci. (Eng.), Ass. Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Voronin S.G.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Gandzha S.A.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Gladyshev S.P.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Michigan-Dearborn University, Dearborn, United States of America  
**Goldshteyn M.E.**, Cand. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Gordon Ya.**, Ph.D., HATCH, Mississauga, Ontario, Canada  
**Grigorev M.A.**, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Domrachev V.G.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., State Institute of Information Technologies and Telecommunications, Moscow, Russian Federation  
**Dudkin M.M.**, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Ismagilov F.R.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation  
**Karandaev A.S.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Kirpichnikova I.M.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Kodkin V.L.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Kozyaruk A.E.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Mineral Resources University, Saint-Petersburg, Russian Federation  
**Kolganov A.R.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ivanovo Power Engineering Institute, Ivanovo, Russian Federation  
**Kornilov G.P.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation  
**Kulikova L.V.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of the Siberian Academy of Sciences of the Higher School, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation  
**Lyatkher V.M.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., New Energitics Inc., Cleveland, United States of America  
**Meshcheryakov V.N.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation  
**Pyatibratov G.Ya.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russian Federation  
**Reznik L.**, Ph.D., Payton Group International, Rishon LeZion, Israel;  
**Sarvarov A.S.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation  
**Tuma J.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Charles University, Prague, Czech Republic  
**Toropov E.V.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., LLC Research and Production Company “UralTermoComplex”, Ekaterinburg, Russian Federation  
**Fedorov O.V.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation  
**Khokhlov Yu.I.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Khusainov Sh.N.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation  
**Shevryev Yu.V.**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russian Federation

# СОДЕРЖАНИЕ

## Теплоэнергетика

ПОСТНИКОВ И.В. Оптимизация надежности теплоснабжения с учетом функций активного потребителя .....	5
СТЕПАНОВА Е.Л., КИРЕЕВ С.С. Оценка показателей работы теплофикационной ПТУ при изменении внутреннего относительного КПД отсеков паровой противодавленческой турбины .....	14
ТОРОПОВ Е.В., ЛЫМБИНА Л.Е. Цифровая модель процессов в топке котла .....	26

## Электроэнергетика

ПОНОМАРЕВ Н.В. Проблемы оценки надежности и эффективности оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике России .....	33
ДАНИЛОВ М.И., РОМАНЕНКО И.Г. Метод идентификации одиночных утечек тока в фазах распределительной сети, контролируемой автоматизированной системой учета .....	41
КИРПИЧНИКОВА И.М., ГОРШКОВ К.Е., САБИТОВ Р.В. Оптимизация работы электрической сети с применением элементов гибких передач .....	53
ГУБИН П.Ю., МАЛАХОВ А.А., РЫНДИНА К.В. Оптимальное размещение средств компенсации реактивной мощности с помощью метода дифференциальной эволюции .....	62
НИКОЛАЕВ А.А., ТУЛУПОВ П.Г., ДЕНИСЕВИЧ А.С., РЫЖЕВОЛ С.С. Анализ гармонического состава токов и напряжений дуг в дуговой сталеплавильной печи с использованием математической модели .....	72

## Альтернативные источники энергии

МИТРОФАНОВ С.В., БАЙКАСЕНОВ Д.К. Исследование способов повышения энергетической эффективности сетевой фотоэлектрической станции в программном обеспечении PVsyst .....	85
--	----

## Электромеханические системы

МЕЩЕРЯКОВ В.Н., СИНЮКОВА Т.В., СИНЮКОВ А.В., КРЮКОВ О.В., ШИШЛИН Д.И. Исследование способов снижения пускового тока при запуске высоковольтных двигателей .....	94
ШЕВЫРЕВ Ю.В., ДО ТХАНЬ ЛИЧ. Обоснование схемы активного фильтра гармоник на основе гибридного каскадного инвертора .....	105
РАДИОНОВ А.А., ГАСИЯРОВ В.Р., ГАРТЛИБ Е.А., ЛОГИНОВ Б.М., ОДИНЦОВ К.Э. Регулирование координат электромеханической системы прокатного стана на основе наблюдателя упругого момента .....	115

## CONTENTS

### Heat-Power Engineering

POSTNIKOV I.V. Optimization of Heat Supply Reliability with Account to the Active Consumer Functions .....	5
STEPANOVA E.L., KIREEV S.S. Evaluation of the Performance Indicators of a Cogeneration STU as Affected by Changing the Internal Relative Efficiency of the Backpressure Steam Turbine Compartments .....	14
TOROPOV E.V., LYMBINA L.E. Digital Model of Boiler Furnace Processes .....	26

### Electric Power Engineering

PONOMAREV N.V. Problems in Assessing Reliability and Efficiency of Operational Dispatch Control in the Electric Power Industry of Russia .....	33
DANILOV M.I., ROMANENKO I.G. Identification of Single Leakage Currents in the Phases of a Distribution Grid Controlled by an Automated Metering System .....	41
KIRPICHNIKOVA I.M., GORSHKOV K.E., SABITOV R.V. Flexible Transmission Elements for Grid Optimization .....	53
GUBIN P.Yu., MALAKHOV A.A., RYNDINA K.V. Metaheuristic Differential Evolution for Optimal Placement of Reactive Power Compensation Devices .....	62
NIKOLAEV A.A., TULUPOV P.G., DENISEVICH A.S., RYZHEVOL S.S. Mathematical Model for the Harmonic Analysis of Electric Arc Currents and Voltages in an Electric Arc Furnace .....	72

### Alternative Sources of Energy

MITROFANOV S.V., BAYKASENOV D.K. PVsyst Software for Better Energy Efficiency of a Grid-Connected Photovoltaic Power Station .....	85
--	----

### Electromechanical Systems

MESHCHERYAKOV V.N., SINYUKOVA T.V., SINYUKOV A.V., KRYUKOV O.V., SHISHLIN D.I. Investigation of Ways to Reduce the Inrush Current when Starting High-Voltage Motors .....	94
SHEVYREV Yu.V., DO THANH LICH. Justification of the Harmonics Active Filter Circuit Based on a Hybrid Cascade Inverter .....	105
RADIONOV A.A., GASIYAROV V.R., GARTLIEB E.A., LOGINOV B.M., ODINTSOV K.E. Regulating the Coordinates of the Electromechanical System of the Rolling Mill Based on the Elastic Torque Observer .....	115