



ВЕСТНИК

**ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

**2015
Т. 15, № 4**

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

СЕРИЯ

«ЭНЕРГЕТИКА»

Решением ВАК России включен в Перечень рецензируемых научных изданий

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального 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:

Ганджа С.А., д.т.н., проф.
Кульмухаметова А.С., к.т.н. (*отв. секретарь*)
Радионов А.А., д.т.н., проф. (*отв. редактор*)

Редакционный совет:

Беспалов В.Я., д.т.н., проф.
Браславский И.Я., д.т.н., проф.
Бродов Ю.М., д.т.н., проф.
Бутырин П.А., д.т.н., проф. член-корр. РАН
Воронин С.Г., д.т.н., проф.
Гладышев С.П., д.т.н., проф.
Гольдштейн М.Е., к.т.н., проф.
Гордон Я., Ph.D.
Григорьев М.А., д.т.н., доц.
Домрачев В.Г., д.т.н., проф.
Исмагилов Ф.Р., д.т.н., проф.
Карандаев А.С., д.т.н., проф.

Кирпичникова И.М., д.т.н., проф.
Кодкин В.Л., д.т.н., проф.
Козярук А.Е., д.т.н., проф.
Колганов А.Р., д.т.н., проф.
Крымский В.В., д.ф-м.н., проф.
Лятхер В.М., д.т.н., проф.
Мещеряков В.Н., д.т.н., проф.
Погуляев Ю.Д., д.т.н., проф.
Пятибратов Г.Я., д.т.н., проф.
Резник Л.Ф., Ph.D.
Сарваров А.С., д.т.н., проф.
Тума И., д.т.н., проф.
Торопов Е.В., д.т.н., проф.
Усынин Ю.С., д.т.н., проф.
Фёдоров О.В., д.т.н., проф.
Хохлов Ю.И., д.т.н., проф.
Хусаинов Ш.Н., д.т.н., проф.
Цытович Л.И., д.т.н., проф.
Шевырёв Ю.В., д.т.н., доц.



BULLETIN

OF THE SOUTH URAL
STATE UNIVERSITY

SERIES

“POWER
ENGINEERING”

2015

Vol. 15, no. 4

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:

Gandzha S.A., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Kulmukhametova A.S., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Radionov A.A., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Editorial Council:

Bespalov V.Ya., Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russian Federation
Braslavskii I.Ya., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ural Power Engineering Institute, Ekaterinburg, Russian Federation
Brodov Yu.M., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ural Power Engineering Institute, Ekaterinburg, Russian Federation
Butyrin P.A., Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russian Federation
Voronin S.G., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Gladyshev S.P., Michigan-Dearborn University, Dearborn, United States of America
Goldshiteyn M.E., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Gordon Ya., HATCH, Mississauga, Ontario, Canada
Grigorev M.A., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Domrachev V.G., State Institute of Information Technologies and Telecommunications, Moscow, Russian Federation
Ismagilov F.R., Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation
Karandaev A.S., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Kirpichnikova I.M., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Kodkin V.L., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
A.E. Kozyaruk, National Mineral Resources University, Saint-Petersburg, Russian Federation
A.R. Kolganov, Ivanovo Power Engineering Institute, Ivanovo, Russian Federation
Krymskiy V.V., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Lyatkher V.M., New Energities Inc., Cleveland, United States of America
Meshcheryakov V.N., Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation
Pogulyaev Yu.D., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Pyatibratov G.Ya., Platov South-Russian State Polytechnic University (Novochebarkassk Polytechnic Institute), Novochebarkassk, Russian Federation
Reznik L., Payton Group International, Rishon Lezion, Israel;
Sarvarov A.S., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation
Tuma J., Charles University, Prague, Czech Republic
Toropov E.V., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Usynin Yu.S., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Fedorov O.V., Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
Khokhlov Yu.I., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Khusainov Sh.N., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Tsytovich L.L., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
Shevryev Yu.V., National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

Теплоэнергетика

| | |
|--|----|
| ГОЛОШУМОВА В.Н., БРОДОВ Ю.М., МИХАЙЛОВ А.Г. Направления совершенствования конструкции цилиндра высокого давления теплофикационных паровых турбин семейства Т-100-130 | 5 |
| ПАНФЕРОВ С.В., ПАНФЕРОВ В.И. Численная аппроксимация конвективного граничного условия для сеток с подвижными узлами | 13 |
| ТОРОПОВ Е.В., ОСИНЦЕВ К.В. Математическая модель теплообмена в зоне интенсивного горения котельного агрегата | 19 |

Электроэнергетика

| | |
|---|----|
| ЕГОРОВ И.С., ГОЛЬДШТЕЙН М.Е. Параметры элементов энергоблока, включающего синхронный генератор с нерегулируемым возбуждением и объединенный регулятор потоков мощности | 26 |
| КОРЖОВ А.В. Моделирование схем замещения изоляции кабелей 6(10) кВ для оценки частичных разрядов с учётом режимов их работы в распределительной сети | 32 |
| ТИШКОВ С.В., ЩЕРБАК А.П. Энергоэффективность и энергосбережение как факторы повышения конкурентоспособности экономики северного приграничного региона (на примере Республики Карелия) | 40 |
| ХАЛЪЯСМАА А.И., БЛИЗНЮК Д.И., РОМАНОВ А.М. Диагностический комплекс для оценки состояния воздушных линий электропередачи | 46 |

Альтернативные источники энергии

| | |
|---|----|
| ГАБДЕРАХМАНОВА Т.С., ЗАЙЦЕВ С.И., КИСЕЛЕВА С.В., ТАРАСЕНКО А.Б., ШАКУН В.П. Проблемы мониторинга солнечных энергетических систем в России | 54 |
| ГУЛЬИЙ С.А. Строительство подземных зданий на Севере – один из путей экономии тепловой энергии | 61 |

Устройства аналоговой и цифровой электроники

| | |
|--|----|
| ФАЙДА Е.Л., СИВКОВА А.П. Управление тиристорными ключами на первичной стороне вольторегулирующих трансформаторов | 69 |
|--|----|

Электромеханические системы

| | |
|---|----|
| ЗАХАРЖЕВСКИЙ О.А., АФОНИН В.В. Методы и алгоритмы учета конструкции обмоток асинхронных машин в системах частотного электропривода | 74 |
| ХРАМШИНА Е.А. Электроприводы по системе «преобразователь частоты – двухскоростной асинхронный двигатель» с переключающимися структурами | 83 |

CONTENTS

Heat-Power Engineering

| | |
|--|----|
| GOLOSHUMOVA V.N., BRODOV Yu.M., MIKHAYLOV A.G. Directions of Perfection of Design High-Pressure Cylinder Steam Turbine Cogeneration Family T-100-130 | 5 |
| PANFEROV S.V., PANFEROV V.I. Numerical Approximation of Convective Boundary Conditions for Grids with Mobile Nodes | 13 |
| TOROPOV E.V., OSINTSEV K.V. Mathematical Model of Heat Transfer into the Intensive Burning Zone of Steam Generator | 19 |

Electric Power Engineering

| | |
|--|----|
| EGOROV I.S., GOLDSHTEIN M.E. Parameters of the Elements of Power Unit, that Contains a Synchronous Generator with Fixed Excitation and Unified Power Flow Controller | 26 |
| KORZHOV A.V. Modeling Equivalent Circuit Cable Insulation 6(10) kV for the Evaluation of Partial Discharges Taking into Account Mode of Operation in the Distribution Network | 32 |
| TISHKOV S.V., SHCHERBAK A.P. Energy Efficiency and Conservation as Factors of Competitiveness of the Economy of the Northern Border Region (on the Example of the Republic of Karelia) | 40 |
| KHALYASMAA A.I., BLIZNYUK D.I., ROMANOV A.M. Diagnostic System for Overhead Lines State Assessment | 46 |

Alternative Sources of Energy

| | |
|--|----|
| GABDERAKHMANOVA T.S., ZAYTSEV S.I., KISELEVA S.V., TARASENKO A.B., SHAKUN V.P. The Problems of Solar Energy Systems Monitoring in Russia | 54 |
| GULYY S.A. Underground Building in the North is a Way to Save Thermal Energy | 61 |

Analog and Digital Electronic Device

| | |
|---|----|
| FAYDA E.L., SIVKOVA A.P. Control of Thyristor Keys on Primary Party Transformer with Voltage Adjustment | 69 |
|---|----|

Electromechanical Systems

| | |
|--|----|
| ZAKHARZHEVSKIY O.A., AFONIN V.V. Methods and Algorithms to Account the Design of Windings of Asynchronous Machine in Frequency Electric Drives | 74 |
| KHRAMSHINA E.A. Electric Drives of the Frequency Converter-Two-Speed Asynchronous Motor System with Switching Structures | 83 |

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЦИЛИНДРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН СЕМЕЙСТВА Т-100-130

В.Н. Голошумова, Ю.М. Бродов, А.Г. Михайлов

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Приведен обзор опубликованных материалов о направлении в конструировании цилиндра высокого давления турбин семейства Т-100/120-130. Теплофикационные турбины типа Т-53/67-8,0, Т-113/145-12,4 предназначены для эксплуатации в составе ПГУ, а турбина типа Т-125/150-12,8 – для замены устаревших Т-125/150-12,8. В проекте турбины Т-125/150-12,8 впервые при сопловом парораспределении не предусмотрена камера регулирующей ступени. Это позволило получить в расчетах номинального режима относительный внутренний КПД в регулирующем отсеке 85 % и относительный внутренний КПД проточной части ЦВД 88 %. Применение соплового парораспределения предполагает регулярную работу турбины в переменных режимах. Необходимы газодинамические исследования проточной части нового ЦВД в переменных режимах.

Ключевые слова: паровая турбина, цилиндр высокого давления, корпус цилиндра, ротор, камера регулирующей ступени, относительный межступенчатый зазор, переменный режим.

Введение

Потребности в реконструкции теплофикационных турбин семейства Т-100-130 УТЗ связаны с морально устаревшими отдельными проектно-техническими решениями, ранее заложенными в конструкцию пилотной турбины, а также с появлением в этом вопросе новых современных тенденций и решений. Исходная конструкция турбин семейства Т-100-130 спроектирована в конце 50-х гг. XX в. и изготовлена в 1961 г. с использованием технических решений, которые соответствовали уровню научных и технологических разработок того времени. Эта турбина была в своем классе уникальной и самой мощной в мире. В 1967 г. турбине Т-100-130 первой из турбин в Советском Союзе был присвоен Государственный знак качества, в 1970 г. и 1974 г. был получен также Знак качества.

Совершенствование конструкции цилиндра высокого давления теплофикационных паровых турбин семейства Т-100-130

Третья модификация турбины Т-100/120-130-3 уже была номинальной мощностью 110 МВт и с более высокой экономичностью. Турбина Т-110/120-130 (Т-110) состоит из трех цилиндров. В цилиндре высокого давления (ЦВД) пар расширяется до давления верхнего регенеративного отбора, в цилиндре среднего давления (ЦСД) – до давления нижнего отопительного отбора. Из выходного патрубка цилиндра низкого давления (ЦНД) пар, отработавший в турбине, поступает в паровой объем

поверхностного конденсатора. В турбине применено сопловое парораспределение с двухвенечной регулирующей ступенью (РС). При переменных режимах работы турбины через РС проходит два потока пара с различными параметрами пара и скоростями. Выбор типа РС осуществляется на основе технико-экономических расчетов. Считали оптимальным применение двухвенечной регулирующей ступени (РС), с ограниченным изоэнтальпийным перепадом и выполнение ступеней давления с малым диаметром. В ЦВД размещено 9 ступеней. Средний диаметр РС $d_{ср, РС} = 950$ мм, высота рабочей лопатки второго ряда РС $l_{2, РС} = 35$ мм осевая ширина камеры за РС, необходимая для выравнивания потока в окружном направлении после РС $\Delta z = 156,5$ мм, следовательно, относительный межступенчатый зазор РС (ОМЗ) $\bar{\Delta z} = \Delta z / l_{2, РС} = 4,47$; корневой диаметр ступеней давления $d_k = 802$ мм. Применение данной конструкции проточной части ЦВД позволило достичь: КПД в регулирующей ступени 67,9 %; КПД ступеней давления 89,6 %; КПД проточной части ЦВД 84,5 %.

В ЦВД нет обойм для диафрагм ступеней давления. Корпус ЦВД Т-110 сконструирован одностенным, выполнен литьем из теплоустойчивой стали. В корпус цилиндра вварены четыре сопловые коробки РС – две в верхнюю половину и две в нижнюю.

Ротор ЦВД Т-110 – выточен из моноблочной поковки стали 25Х1М1ФА (Р2МА).