
СОДЕРЖАНИЕ

Номер 9, 2023

Паротурбинные, газотурбинные, парогазовые установки и их вспомогательное оборудование

Эффективность тепловой завесы при вдуве пульсирующего потока воздуха (обзор)

*А. В. Шукин, А. В. Ильинков, В. В. Такмовцев, И. А. Попов,
А. Л. Тукмаков, А. В. Стародумов*

5

Новый метод определения аэродинамических сил, возникающих в уплотнениях турбин

С. С. Дмитриев, Б. Н. Петрунин, В. В. Наумов, И. А. Никитин

18

Эффективность многоступенчатого фильтрования турбинного масла
в системе маслоснабжения турбоагрегатов

К. В. Осинцев, Н. А. Пшениснгов, А. И. Пшениснгов

28

Водоподготовка и водно-химический режим

Биологическое загрязнение технологического оборудования и химически обессоливающей
водоподготовительной установки на ТЭС (обзор)

Н. Д. Чичирова, А. А. Филимонова, С. М. Власов, О. Е. Бабинов

35

Тепло- и массообмен, свойства рабочих тел и материалов

Моделирование процессов смешения однофазных сред в тройниковых соединениях

*Ф. В. Тупоносков, В. И. Артемов, Г. Г. Яньков, Н. С. Душин,
О. А. Душина, А. В. Дедов*

45

Комплексное исследование распыла перегретой воды

*Ю. А. Зейгарник, В. И. Залкинд, В. Л. Низовский, Л. В. Низовский,
С. С. Щигель, И. В. Маслакова*

68

Возобновляемые источники энергии, гидроэнергетика

Опыт развития геотермальной энергетики на примере Исландии

В. А. Бутузов

77

Паровые котлы, энергетическое топливо, горелочные устройства и вспомогательное оборудование котлов

Исследование влияния температуры на образование оксидов азота
при ступенчатом сжигании низкорекреационного угля
с использованием прямооточных горелок

В. Б. Прохоров, С. Л. Чернов, В. С. Киричков, В. Д. Апаров

88

Теплофикация и тепловые сети

Прогнозирование тепловой нагрузки для систем централизованного теплоснабжения
с помощью моделей TCN и CatBoost

C. Han, M. Gong, J. Sun, Y. Zhao, L. Jing, C. Dong, Z. Zhao

Contents

Vol. 70, No. 9, 2023

Steam-Turbine, Gas-Turbine, and Combined-Cycle Power Plants and Their Auxiliary Equipment

The Effectiveness of Film Cooling with Injection of Pulsating Air Flow (Review)

*A. V. Shchukin, A. V. Il'inkov, V. V. Takmovtsev, I. A. Popov,
A. L. Tukmakov, and A. V. Starodumov*

5

A New Method for Determining the Aerodynamic Forces Arising in Turbine Seals

S. S. Dmitriev, B. N. Petrulin, V. V. Naumov, and I. A. Nikitin

18

Efficiency of Multistage Filtration of Turbine Oil in the Oil-Supply System
of Turbo Units

K. V. Osintcev, N. A. Pshenishnov, and A. I. Pshenishnov

28

Water Treatment and Water Chemistry

Biological Pollution of Technological Equipment and the Chemically Desalting
Water Treatment Plant at a TPP (Review)

N. D. Chichirova, A. A. Filimonova, S. M. Vlasov, and O. E. Babikov

35

Heat and Mass Transfer, Properties of Working Bodies and Materials

Simulation of Mixing of Single-Phase Fluids in T-Junctions

*F. V. Tuponosov, V. I. Artemov, G. G. Yan'kov, N. S. Dushin,
O. A. Dushina, and A. V. Dedov*

45

An Integrated Study of Superheated Water Atomization

*Yu. A. Zeigarnik, V. I. Zalkind, V. L. Nizovskii, L. V. Nizovskii,
S. S. Shchigel', and I. V. Maslakova*

68

Renewable Energy, Hydropower

Experience of the Development of Geothermal Energy on the Example of Iceland

V. A. Butuzov

77

Steam Boilers, Power Fuel, Burners, and Boiler Accessories

Investigation into the Influence of Temperature on the Formation
of Nitrogen Oxides during the Staged Combustion of Low-Reactive Coal
with the Use of Direct-Flow Burners

V. B. Prokhorov, S. L. Chernov, V. S. Kirichkov, and V. D. Aparov

88

District Heating Cogeneration and Heat Networks

Heat Load Prediction for District Heating Systems with Temporal Convolutional Network and CatBoost

C. Han, M. Gong, J. Sun, Y. Zhao, L. Jing, C. Dong, and Z. Zhao

97

**ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ,
ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ
И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ ЗАВЕСЫ
ПРИ ВДУВЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ПОТОКА ВОЗДУХА (ОБЗОР)¹**

© 2023 г. А. В. Шукин^а, *, А. В. Ильинков^а, В. В. Такмовцев^а, **,
И. А. Попов^а, А. Л. Тукмаков^а, А. В. Стародумов^б

^аКазанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,
ул. Карла Маркса, д. 10, г. Казань, 420111 Россия

^бМосковский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
Волоколамское шоссе, д. 4, Москва, 125993 Россия

*e-mail: a.v.shchukin@rambler.ru

**e-mail: vvt379@rambler.ru

Поступила в редакцию 15.02.2023 г.

После доработки 05.04.2023 г.

Принята к публикации 27.04.2023 г.

Выполнен аналитический обзор научных публикаций, содержащих результаты физического и численного моделирования влияния пульсирующего режима течения охлаждающего воздуха на эффективность тепловой завесы η , главным образом, профильной части турбинных лопаток. Испытания, проведенные в условиях, близких к натурным, показали, что наблюдается как положительное и переменное, так и отрицательное воздействие пульсаций на показатель эффективности тепловой завесы. Получено, что положительное или отрицательное влияние наложенных на вдуваемый поток воздуха пульсаций обусловлено механизмами переноса в системе пленочного охлаждения, реализуемыми при отсутствии пульсаций. При этом веерные отверстия дают более высокую локальную эффективность тепловой завесы по сравнению с классическими цилиндрическими отверстиями не только в стационарном, но и в пульсирующем режиме вдува. В стационарном режиме это происходит при параметре вдува $m = 1.0$, а в пульсирующем режиме – при $m = 1.5$ и 2.0 . Причина заключается в более равномерном покрытии пленкой газозоудушной смеси охлаждаемой поверхности за сечением пульсирующего вдува. Причем при $m = 1.5$ для отверстий обеих форм пульсирующий поток охладителя обеспечивает большее значение поперечно осредненной эффективности тепловой завесы η , чем стационарный вдуваемый поток. Рассмотрены в обзоре методы прогнозирования влияния вдува в пульсирующем режиме на значение η требуют только знаний о стационарном потоке и позволяют оценить, в каких случаях пульсации оказывают положительное, а в каких отрицательное воздействие на эффективность тепловой завесы.

Ключевые слова: лопатка турбины, эффективность тепловой завесы, пульсирующий поток, цилиндрические и веерные отверстия вдува, теплоотдача, параметр вдува, режимные и геометрические параметры

DOI: 10.56304/S0040363623090060

The Effectiveness of Film Cooling with Injection of Pulsating Air Flow (Review)

A. V. Shchukin^{a, *}, A. V. Il'inkov^a, V. V. Takmoltsev^{a, **}, I. A. Popov^a,
A. L. Tukmakov^a, and A. V. Starodumov^b

^a *Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan, 420111 Russia*

^b *Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 125993 Russia*

**e-mail: a.v.shchukin@rambler.ru*

***e-mail: vvt379@rambler.ru*

Abstract—An analytical review is presented of scientific publications with the results of physical and numerical simulation of the effect of the pulsating cooling air flow on the effectiveness of thermal cooling, specifically on the airfoil part of turbine blades. The tests carried out under nearly full-scale conditions have revealed positive, variable, or negative effects of pulsations on the effectiveness of the film cooling. It has been found that a positive or negative effect of pulsations superimposed on the injected air flow is determined by the transport mechanisms in the film-cooling system, which are observed without pulsations. At the same time, fan-shaped holes give a higher local effectiveness of the film cooling compared to classical cylindrical holes not only in the steady-state case without changing the coolant flowrate but also in the case with pulsating flow injection. In the steady-state case, this occurs at a blowing ratio of $m = 1.0$, and that with the pulsating flow injection is at $m = 1.5$ and 2.0 . This is caused by the more uniform coverage by the gas-air mixture of the cooled surface downstream of the section with pulsating air flow injection. Moreover, at $m = 1.5$ for holes of both shapes, the pulsating coolant flow with $m = 1.5$ offers a higher spanwise averaged effectiveness of film cooling, $\bar{\eta}$, than the injected steady flow does. The examined methods for predicting the effect of pulsating flow injection on η require only knowledge of the steady flow behavior and enable us to assess when pulsing would be beneficial or detrimental for the effectiveness of film cooling.

Keywords: turbine blade, film-cooling effectiveness, pulsating flow, cylindrical or fan-shaped injection holes, heat transfer, blowing ratio, operating conditions, geometric parameters

**ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ,
ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ
И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ,
ВОЗНИКАЮЩИХ В УПЛОТНЕНИЯХ ТУРБИН**

© 2023 г. С. С. Дмитриев^а, *, Б. Н. Петрунин^а, В. В. Наумов^а, И. А. Никитин^а

^аНациональный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,
Красноказарменная ул., д. 14, Москва, 111250 Россия

*e-mail: dmitriyevss@mpei.ru

Поступила в редакцию 28.12.2022 г.

После доработки 12.03.2023 г.

Принята к публикации 30.03.2023 г.

Предлагается разработанный и экспериментально апробированный на кафедре паровых и газовых турбин НИУ МЭИ метод расчета аэродинамических сил, позволяющий по значению аэродинамической силы, измеренной в статических условиях, в первом приближении быстро оценить неконсервативную составляющую аэродинамической силы в уплотнениях без применения традиционных дорогостоящих методов исследований. Обоснована возможность расчета неконсервативной составляющей аэродинамической силы при любой частоте вращения ротора в статических условиях. Полученные с использованием нового метода значения неконсервативной составляющей аэродинамической силы в уплотнении по расчетной зависимости, предложенной А.Г. Костюком, были сопоставлены с результатами измерений этой силы для аналогичных моделей уплотнений, проведенных ранее традиционными способами – с помощью тензометрических весов и по показаниям в дренажах камер уплотнений. Далее новый метод определения аэродинамических сил был применен для оценки венцовых сил, зависящих от неравномерности протечки через надбандажное уплотнение и действующих на кольцевую рабочую турбинную решетку Р-26-17А. Сравнение полученных значений с данными исследований, выполненных на стенде ОТ-1 традиционным способом путем тензометрических измерений, показало их хорошее согласие. Предложенный метод позволяет получить качественно и количественно верные результаты и может быть использован для сравнения уплотнений, имеющих разные конфигурации, по значению возникающей в них неконсервативной составляющей силы, способной вызывать автоколебания валопроводов турбомашин. Для отработки метода могут применяться модели роторных частей, не требующих балансировки и изготовленных из недорогих материалов.

Ключевые слова: неконсервативная составляющая аэродинамической силы, уплотнение, рабочая решетка, измерения, жесткость силы, смещение осей ротора и статора, эксцентриситет

DOI: 10.56304/S0040363623090035

A New Method for Determining the Aerodynamic Forces Arising in Turbine Seals

S. S. Dmitriev^{a, *}, B. N. Petrulin^a, V. V. Naumov^a, and I. A. Nikitin^a

^a National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 111250 Russia

*e-mail: dmitriyevss@mpei.ru

Abstract—The article presents an aerodynamic force calculation method that was developed and tested at the National Research University Moscow Power Engineering Institute's (NRU MPEI) Department of Steam and Gas Turbines. By using the proposed method, it is possible to quickly estimate, as a first approximation, the nonconservative component of the aerodynamic force arising in turbine seals proceeding from the aerodynamic force value measured under steady-state conditions without resorting to conventional costly research methods. The possibility to calculate the aerodynamic force nonconservative component at any rotor rotation frequency under steady-state conditions is substantiated. The values of the aerodynamic force nonconservative component in the seal obtained using the new method according to the calculation expression proposed by A.G. Kostyuk were compared with the results of measuring this force for similar seal models carried out previously using the conventional methods: by means of a strain-gauge balance and from the readings in seal chamber drains. The new method for determining aerodynamic forces was then applied for estimating the blade row forces, which depend on the leak uniformity through the shroud seal and act on the R-26-17A annular turbine rotor cascade. The obtained values were compared with the data of studies carried out on the IT-1 experimental setup using the conventional method by means of strain-gauge measurements, and the comparison results have shown good agreement of the data. The proposed method makes it possible to obtain qualitatively and quantitatively valid results and can be used for comparing the seals having different configurations with respect to the nonconservative force component arising in them that can give rise to self-vibration of turbine machinery shaft lines. For perfecting the method, it is possible to use the models of rotor parts that do not need balancing and that are manufactured using inexpensive materials.

Keywords: aerodynamic force nonconservative component, seal, rotor blade cascade, measurements, force rigidity, displacement of rotor and stator axes, eccentricity

**ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ,
ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ
И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ
ТУРБИННОГО МАСЛА В СИСТЕМЕ
МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ**

© 2023 г. К. В. Осинцев^{а, *}, Н. А. Пшенисн^{а, b}, А. И. Пшенисн^б

^аЮжно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет),
просп. Ленина, д. 76, г. Челябинск, 454080 Россия

^бНаучно-производственное объединение “ЭнергоСервис”, ул. Сулимова, д. 75, г. Челябинск, 454048 Россия

*e-mail: enserv@mail.ru

Поступила в редакцию 17.01.2023 г.

После доработки 09.02.2023 г.

Принята к публикации 01.03.2023 г.

Для очистки турбинного масла систем маслоснабжения отечественных турбоагрегатов используют многоступенчатые сетчатые фильтры, которые устанавливают в главном масляном баке (ГМБ). При эксплуатации энергетического оборудования загрязнения непрерывно поступают в гидравлическую систему и удаляются фильтрами. В статье проанализированы изменение коэффициента пропускания W_i в процессе многоступенчатого фильтрования и его влияние на чистоту масла в работающей системе. Эффективность последовательно установленных фильтров описана степенной функцией, в которой основанием является коэффициент пропускания частиц отдельной ступени W_{in} (при условии $W_{in} = \text{const}$ для всех ступеней фильтрования), а показателем — число ступеней фильтрования n . Представлены результаты модернизации фильтров маслоснабжения турбоагрегата К-200-12.8 ЛМЗ Южноуральской ГРЭС. Вместо латунных тканых сеток был установлен фильтрующий материал из полиамидных мононитей (полиамидный фильтрующий материал). После модернизации фильтров чистота масла в системе маслоснабжения повысилась, количество твердых частиц размерами более 10 мкм в нем уменьшилось в 68 раз, количество воды снизилось примерно в 3 раза; промышленная чистота соответствовала классу 8 (ГОСТ 17216-2001). Рассмотрена работа фильтров грубой и тонкой очистки с одной и двумя ступенями на Южноуральской ГРЭС. При переходе от одноступенчатого фильтрования к двухступенчатому чистота масла стала выше, а количество твердых частиц размерами более 5 мкм уменьшилось в нем в 3 раза, содержание воды в масле — приблизительно в 12 раз. Отмечено, что чистота фильтрата существенно повысилась благодаря увеличению числа ступеней фильтрования.

Ключевые слова: паровая турбина, турбинное масло, многоступенчатые сетчатые фильтры маслоснабжения, маслоснабжение турбоагрегата, рабочая жидкость, коэффициент пропускания частиц

DOI: 10.56304/S0040363623080076

Efficiency of Multistage Filtration of Turbine Oil in the Oil-Supply System of Turbo Units

K. V. Osintcev^{a, *}, N. A. Pshenisnov^{a, b}, and A. I. Pshenisnov^b

^a South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, 454080 Russia

^b EnergoService Research and Production Association, Chelyabinsk, 454048 Russia

*e-mail: enserv@mail.ru

Abstract—The efficiency of multistage filters of the main oil tank (MOT) is analyzed. The efficiency of sequentially installed filters is determined by a power function in which the base is the stage skip factor W_{in} (assuming $W_{in} = \text{const}$ for all filtering stages) and the exponent is the number of filtering stages n . Under the operating conditions of the hydraulic system, contaminants continuously enter the system and are removed by the filter. How the change in the transmittance W_i in the process of multistage filtration affects the purity of the oil in the operating system is analyzed. Oil tank filters were upgraded at the T-200-130 LMZ turbine unit (station no. 9) at Yuzhnouralskaya GRES. Instead of brass woven meshes, a filter material made of polyamide monofilaments (polyamide filter material) was installed. After the modernization of the coarse and fine filters, the oil became cleaner in the oil-supply system of the T-200-130 LMZ turbine unit (station no. 9), the amount of solid particles in it (in samples from the clean compartment of the MOT) with sizes of more than 10 microns decreased by 68 times, and the amount of water in the oil decreased by approximately three times; industrial purity corresponds to the eighth class of GOST 17216-2001. In practice, the operation of coarse and fine filters in one and two stages was also analyzed. When switching from single-stage to two-stage filtration, the purity of the oil became higher, and the amount of solid particles in it with sizes of more than 5 microns decreased by three times, while the amount of water in the oil by approximately 12 times. Increasing the number of filtration stages significantly increases the purity of the filtrate.

Keywords: steam turbine, turbine oil, oil tank filters, turbine unit oil supply, working fluid

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ХИМИЧЕСКИ ОБЕССОЛИВАЮЩЕЙ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ТЭС (ОБЗОР)¹

© 2023 г. Н. Д. Чичирова^а, А. А. Филимонова^а, С. М. Власов^а, О. Е. Бабинов^а, *

^аКазанский государственный энергетический университет (КГЭУ),
Красносельская ул., д. 51, г. Казань, 420066 Россия

*e-mail: Olegsey1998@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.01.2023 г.

После доработки 01.03.2023 г.

Принята к публикации 30.03.2023 г.

На тепловых электрических станциях установки, контактирующие с водным теплоносителем, подвергаются биологическому загрязнению. Это обусловлено рядом факторов: поддержанием благоприятных температурных режимов, образованием застойных зон, постоянной подачей питательных веществ, наличием больших площадей поверхностей оборудования (трубопроводы, резервуары для хранения воды, трубная поверхность конденсатора), присутствием различных материалов (ионообменные смолы, мембраны), изменением климатических условий. Борьба с образованием таких загрязнений теплоэнергетического оборудования на сегодняшний день весьма актуальна, хотя практически на всех ТЭС проводится тщательная подготовка добавочной и питательной воды. Следует отметить, что контроль концентрации органических примесей в жидкой и паровой фазах, а также ведение постоянного мониторинга являются довольно трудоемкими процессами. Органические отложения и наличие биопленок на технологическом оборудовании систем оборотного охлаждения (СОО), водоподготовительных установках (ВПУ), резервуарах хранения химически очищенной воды приводят к различным производственным сбоям, аварийным ситуациям и общему снижению эффективности выработки тепловой и электрической энергии. В настоящей работе выполнен обзор зарубежных и отечественных исследований, посвященных особенностям образования и развития биопленок. Рассмотрены актуальные методы обнаружения и оценки биологического загрязнения, описаны традиционные химические, физические, электрохимические, акустические, электромагнитные и иные методы борьбы с микроорганизмами и бактериями. Показано, что рост бактерий значительно усложняет процедуры очистки оборудования и ускоряет процесс накипеобразования. Для эффективного решения проблем биологических загрязнений разработку методов диагностики и контроля образования бактериальных отложений, подготовку добавочной воды и ведение водно-химического режима необходимо осуществлять дифференцированно на основе идентификации колоний микроорганизмов с помощью тест-систем. Отмечены предыдущие работы коллектива авторов, касающиеся вопросов загрязнения теплоносителя систем оборотного охлаждения и водоподготовительных установок на ТЭС Республики Татарстан в период с 2009 по 2022 г.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, водоподготовительные установки, биологическое загрязнение, биопленка, конденсатор паровой турбины, ионообменные смолы, мембранные технологии, УФ-облучение, озонирование

DOI: 10.56304/S0040363623090023

Biological Pollution of Technological Equipment and the Chemically Desalting Water Treatment Plant at a TPP (Review)

N. D. Chichirova^a, A. A. Filimonova^a, S. M. Vlasov^a, and O. E. Babikov^{a, *}

^a Kazan State Power Engineering University (KSUE), Kazan, 420066 Russia

*e-mail: Olegsey1998@yandex.ru

Abstract—At thermal power plants, installations in contact with the water coolant are subject to biological contamination. This is due to a number of factors: the maintenance of favorable temperature regimes, the formation of stagnant zones, the constant supply of nutrients, the presence of large areas of equipment surfaces (pipelines, water storage tanks, the pipe surface of the condenser), the presence of various materials (ion-exchange resins, membranes), and changing climatic conditions. The fight against the formation of such pollution of thermal power equipment is very relevant today, although almost all TPPs carry out thorough preparation of additional and feed water. It should be noted that the control of the concentration of organic impurities in the liquid and vapor phases, as well as continuous monitoring, are rather laborious processes. Organic deposits and the presence of biofilms on the process equipment of circulating cooling systems (CCS), water treatment plants (WTP), and chemically treated water storage tanks lead to various production failures, emergencies, and a general decrease in the efficiency of heat and electricity generation. In this paper, foreign and domestic studies on the features of the formation and development of biofilms were reviewed. Current methods for detecting and assessing biological pollution are considered and traditional chemical, physical, electrochemical, acoustic, electromagnetic, and other methods of combating microorganisms and bacteria are described. It has been shown that the growth of bacteria significantly complicates the equipment-cleaning procedures and accelerates the process of scale formation. To effectively solve the problems of biological deposits, the development of methods for diagnosing and controlling the formation of bacterial deposits, the preparation of additional water, and the maintenance of a water-chemical regime must be carried out differentially based on the identification of colonies of microorganisms using test systems. The previous works of the team of authors concerning the issues of pollution of the coolant of circulating cooling systems and water treatment plants at TPPs of the Republic of Tatarstan in the period from 2009 to 2022 are noted.

Keywords: thermal power plants, water treatment plants, biological pollution, biofilm, steam turbine condenser, ion-exchange resins, membrane technologies, UV irradiation, ozonation

ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ
ОДНОФАЗНЫХ СРЕД В ТРОЙНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ^{1, 2}

© 2023 г. Ф. В. Тупонос^а, В. И. Артемов^а, Г. Г. Яньков^а,
Н. С. Душин^б, О. А. Душина^б, А. В. Дедов^{а, б, *}

^аНациональный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,
Красноказарменная ул., д. 14, Москва, 111250 Россия

^бФедеральный исследовательский центр “Казанский научный центр Российской академии наук”,
ул. Лобачевского, д. 2/31, г. Казань, 420111 Россия

*e-mail: dedovav@mpei.ru

Поступила в редакцию 31.03.2023 г.

После доработки 07.04.2023 г.

Принята к публикации 27.04.2023 г.

Цель работы – выбор методики численного моделирования и расчет процессов смешения природного газа с так называемыми “отдувками” нефтехимических производств, содержащими метан, водород и азот, в трубах Т-образного соединения (тройнике) для использования полученной смеси в качестве топлива на тепловых электростанциях. Особенности смешения топливных газов являются высокие числа Рейнольдса моделируемых потоков, достигающие значений $Re = (5–10) \times 10^6$. Представлен анализ некоторых экспериментальных и современных расчетных исследований процессов смешения потоков в трубах и тройниковых соединениях. Подчеркивается, что при проведении численного моделирования с помощью осредненных по Рейнольдсу уравнений сохранения применение разнообразных популярных моделей для турбулентной вязкости или рейнольдсовых напряжений не позволяет получить удовлетворительного соответствия экспериментальным данным о смешении потоков в Т-образном смесителе без необоснованного уменьшения турбулентного числа Шмидта (Прандтля) до значения 0.1 или увеличения известной константы моделей турбулентности C_μ в 9 раз. Сделан вывод о нецелесообразности выбора вихререзающих методов для исследования процессов смешения в соединениях топливных трубопроводов ввиду высоких чисел Рейнольдса и значительных длин основной трубы. Анализ выполненных расчетов позволил обнаружить существенные колебания локального отношения скорости порождения кинетической энергии турбулентных пульсаций к скорости ее диссипации и резкое уменьшение его среднего значения по сечению трубы на расстояниях в несколько диаметров от начала смешения, не свойственное ни течениям в трубах, ни слоям смешения или струям. Предпринята попытка улучшить предсказательные способности стандартной $k-\epsilon$ -модели для развитой турбулентности, оставаясь в рамках обоснованных значений турбулентного числа Шмидта Sc_t и константы C_μ . Предложены эмпирическая формула для Sc_t и модификация стандартной $k-\epsilon$ -модели, учитывающей переменность C_μ согласно зависимости Роды, тщательно верифицированной на данных о разнообразных свободных течениях. Проведены экспериментальные исследования изотермического смешения в Т-образном смесителе потоков воздуха, один из которых содержал трассеры в виде микрокапель жидкости на основе глицерина. Профили гидродинамических характеристик течения за тройником измерялись планарным оптическим методом SIV на дистанции $5.5D$ от оси пересечения труб. В целях верификации модифицированной $k-\epsilon$ -модели выполнено численное моделирование процессов смешения газов и жидкостей в Т-образном смесителе и проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных. Представлены результаты расчетов процессов смешения природного газа с метановодородной фракцией нефтехимических производств в Т-образном смесителе.

Ключевые слова: Т-образный смеситель, смешение топливных газов, численное моделирование, верификация модели турбулентности, эксперимент, метод SIV

DOI: 10.56304/S0040363623090072

Simulation of Mixing of Single-Phase Fluids in T-Junctions

F. V. Tuponosov^a, V. I. Artemov^a, G. G. Yan'kov^a, N. S. Dushin^b, O. A. Dushina^b, and A. V. Dedov^{a, b, *}

^a National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 111250 Russia

^b Federal Research Center Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Kazan, 420111 Russia

*e-mail: dedovav@mpei.ru

Abstract—The purpose of this study is to sample a procedure for numerical simulation and calculation of the processes of mixing in pipes of a T-junction (tee) of natural gas with the so-called “stripped” components, such as methane, hydrogen, and nitrogen, to obtain a mixture that can be used as a fuel at thermal power plants. The specific of fuel gas mixing is high Reynolds numbers of the simulated flows, which can be as high as $Re = (5–10) \times 10^6$. An analysis is presented of some experimental and modern computational studies of the processes of flow mixing in pipes and T-junctions. It is pointed out that the application of various well-accepted models for eddy viscosity or Reynolds stresses in the numerical simulation on the basis of Reynolds-averaged conservation equations yields a satisfactory agreement with experimental data on mixing flows in a T-mixer only with an unjustified decrease of the turbulent Schmidt (Prandtl) number to the value 0.1 or an increase of the known constant of turbulence models C_{μ} by a factor of 9. It can be concluded that eddy-resolving methods are unsuitable for the investigation of mixing processes in fuel pipeline joints due to high Reynolds numbers and a great length of the main pipe. An analysis of the predictions has revealed large fluctuations in the local ratio of the generation rate of the turbulent kinetic energy to the rate of its dissipation and a sharp decrease in its value averaged over the pipe cross section at a distance of several diameters from the starting point of mixing, which is not characteristic of pipe flows, mixing layers, or jets. An attempt was made to improve the predictive capabilities of the standard k – ε model for developed turbulence, while keeping the turbulent Schmidt number Sc_t and the constant C_{μ} within the substantiated limits. An empirical formula for Sc_t and a modification of the standard k – ε model, which takes into account the variability of C_{μ} according to the Rodi dependence carefully verified against data on various free flows, are proposed. Experimental investigations of isothermal mixing of air flows in a tee mixer, one of which contained tracers in the form of glycerin-based liquid microdroplets, were carried out. The profiles of hydrodynamic characteristics of the flow downstream of the tee were measured by the planar optical SIV method at a distance of $5.5D$ from the axis of the pipes' intersection. To verify the modified k – ε model, numerical simulation was performed of the mixing of gases and liquids in a tee mixer, and the predictions were compared with the experiment. The results are presented of the calculation of natural gas mixing in a tee mixer with a methane-hydrogen fraction from petrochemical facilities.

Keywords: tee mixer, fuel gas mixing, numerical simulation, turbulence model verification, experiment, SIV method

**ТЕПЛО- И МАССООБМЕН,
СВОЙСТВА РАБОЧИХ ТЕЛ И МАТЕРИАЛОВ**

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПЫЛА ПЕРЕГРЕТОЙ ВОДЫ¹

**© 2023 г. Ю. А. Зейгарник^а, В. И. Залкинд^а, В. Л. Низовский^а,
Л. В. Низовский^а, С. С. Щигель^а, И. В. Маслакова^а, ***

^а*Объединенный институт высоких температур РАН, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, Москва, 125412 Россия*

**e-mail: i.v.maslakova@yandex.ru*

Поступила в редакцию 02.03.2023 г.

После доработки 27.03.2023 г.

Принята к публикации 30.03.2023 г.

Представлены результаты комплексного исследования процесса фрагментации воды, сильно перегретой относительно температуры насыщения, при ее истечении через форсунки различного типа. Разработана и отлажена система оптических измерений дисперсионной структуры факела распыла, которая базируется на измерении индикатрисы рассеяния зондирующего лазерного излучения в широком диапазоне углов ($\pm 45^\circ$) и решении обратной задачи рассеяния с помощью теории Ми. Приведены результаты масштабного экспериментального исследования дисперсионных структур факелов распыла соплами разного типа при температуре распыляемой воды 140–260°C и давлении за срезом сопл 0.1 МПа и показана возможность тонкого распыла жидкости (капель воды диаметром 5 мкм и менее, вплоть до субмикронных) при высоких температурах. Установлено, что структура факела распыла носит явно выраженный бимодальный характер: капли диаметром 5–8 мкм сочетаются с субмикронной модой. С ростом температуры распыляемой воды доля субмикронной моды возрастает, достигая 60–65% (по массе) при температуре 240–260°C для цилиндрических сопел и 80–90% для конфузорно-диффузорных сопел. При впрыске воды в компрессор газотурбинной установки (ГТУ) с промышленной турбиной ТВ3-117 продемонстрирована возможность дополнительного регулирования пиковой мощности. Она составляет 4–8% на каждый 1% расхода воды (по отношению к расходу воздуха). Качество регулирования мощности отвечает требованиям сетевых стандартов ЕС России. Технология распыла перегретой воды находит все более широкое применение в практике пожаротушения на объектах энергетики, в замкнутых помещениях, при проливе нефтепродуктов, операциях с сжиженным газом и других ситуациях.

Ключевые слова: распыл жидкости, перегретая вода, дисперсная структура факела распыла, бимодальное распределение капель по диаметру, впрыск воды в компрессор ГТУ, взрывное вскипание, обратная задача рассеяния

DOI: 10.56304/S0040363623090084

An Integrated Study of Superheated Water Atomization

Yu. A. Zeigarnik^a, V. I. Zalkind^a, V. L. Nizovskii^a, L. V. Nizovskii^a,
S. S. Shchigel'^a, and I. V. Maslakova^{a, *}

^a *Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Moscow, 125412 Russia*

**e-mail: i.v.maslakova@yandex.ru*

Abstract—The article presents the results obtained from an integrated study of heavily superheated water atomization during its flowing out through various types of atomizers. A system for optic measurements of the spray cone dispersion structure has been developed and adjusted. The developed measurement system is based on measuring the scattering indicatrix of a probing laser emission in a wide range of angles ($\pm 45^\circ$) and solving the inverse scattering problem using the Mie theory. The results from a wide-scale experimental study of the spray cone dispersion structures produced by various types of nozzles with a sprayed water temperature of 140–260°C and pressure at the nozzle exit equal to 0.1 MPa are presented, and the possibility of liquid atomization (to water droplets with a diameter of 5 μm or smaller down to submicrometer size) at high temperatures is shown. It has been found that the spray cone structure has a pronounced bimodal pattern: droplets 5–8 μm in diameter combine with a submicrometer mode. With a growth of atomized water temperature, the fraction of submicrometer mode increases, reaching 60–65 wt % at a temperature of 240–260°C for cylindrical nozzles and 80–90 wt % for convergent-divergent nozzles. For the case of water injection into the compressor of a gas turbine unit equipped with the TV-117 industrial grade turbine, the possibility of additionally controlling the peak power output has been demonstrated. It makes 4–8% per water flowrate percent (with respect to the air flowrate). The power output control quality is in compliance with the requirements of the UES of Russia network standards. Superheated water is finding an increasingly growing use for firefighting at power industry facilities, in closed premises, in spills of petroleum products, in performing operations with liquefied gas, and in other situations.

Keywords: liquid atomization, superheated water, spray cone dispersed structure, bimodal distribution of droplet diameters, water injection into the GTU compressor, flashing, inverse scattering problem

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ,
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

ОПЫТ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ПРИМЕРЕ ИСЛАНДИИ

© 2023 г. В. А. Бутузов*

*Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина,
ул. Калинина, д. 13, г. Краснодар, 350044 Россия*

**e-mail: ets@nextmail.ru*

Поступила в редакцию 13.02.2023 г.

После доработки 24.03.2023 г.

Принята к публикации 30.03.2023 г.

Представлены данные о ресурсной геотермальной базе Исландии: 25 высокотемпературных (температурой свыше 200°C в забое) и 250 низкотемпературных (150°C) месторождений. Отмечено сходство геологических условий и основных характеристик термоводозаборов Исландии и Камчатского края России. Проведен анализ правового обеспечения геотермальной энергетики Исландии, а также деятельности государственного учреждения Orkustofnun по лицензированию, исследованиям геотермальных месторождений и созданию крупнейшей в мире библиотеки геотермальной литературы. Описан процесс реализации госпрограммы IDDP по бурению и исследованию скважин у подножия вулкана Krafla при сверхкритических параметрах (СКП) флюидов. Приведены основные характеристики восьми геотермальных электростанций (ГеоЭС) общей мощностью 753 МВт с выработкой электроэнергии в 2021 г. 6208 ГВт · ч, описаны тепловые схемы и циклы. Указано, что самая мощная в Исландии ГеоЭС – Hellisheiði (303 МВт), геотермальный теплоноситель которой подается в г. Рекиявик, расположенный на расстоянии 19.5 км от нее. Эта станция оснащена установленной системой утилизации углекислого газа в карбонатные подземные породы. На двух ГеоЭС построены энергоблоки с бинарными циклами: Nusavik (2 МВт) по циклу Калины, Svartsergi (7 × 1.2 МВт) с органическим теплоносителем. Отмечено, что Исландия обладает крупнейшей в мире геотермальной теплогенерацией [2373 МВт, 9340 ГВт · ч (2021 г.)] с преобладанием отопления [1650 МВт; 6840 ГВт · ч (2021 г.)]. Описана самая мощная в стране и в мире система теплоснабжения г. Рекиявик: ее мощность составляет 1150 МВт, протяженность – 2230 км. Представлены данные о неэнергетическом использовании геотермальной воды: на рыбных фермах, в плавательных бассейнах, теплицах, установках по утилизации углекислого газа. Сделан вывод, что опыт Исландии особенно значим для развития геотермальной энергетики России.

Ключевые слова: геотермальные месторождения, скважины, сверхкритические параметры, реинжекция, электрогенерация, ГеоЭС, топливно-энергетический баланс, паровые турбины, сепарация пара, бинарные энергоблоки, утилизация углекислоты, теплогенерация, геотермальные технологии

DOI: 10.56304/S0040363623090011

Experience of the Development of Geothermal Energy on the Example of Iceland

V. A. Butuzov*

Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044 Russia

**e-mail: ets@nextmail.ru*

Abstract—Data on the geothermal resource base of Iceland are presented: 25 high-temperature (temperature over 200°C at the bottom) and 250 low-temperature (150°C) deposits. The similarity of the geological conditions and the main characteristics of thermal water intakes in Iceland and Kamchatka krai of Russia is noted. The analysis of the legal support of geothermal energy in Iceland, as well as the activities of the state institution Orkustofnun for licensing, research of geothermal deposits, and the creation of the world's largest library of geothermal literature, was carried out. The process of implementation of the IDDP state program for drilling and testing wells at the foot of the Krafla volcano at supercritical parameters (SCP) of fluids is described. The main characteristics of eight geothermal power plants (GeoPP) with a total capacity of 753 MW with electricity generation in 2021 of 6208 GW h are given and thermal schemes and cycles are described. It is indicated that the most powerful GeoPP in Iceland is Hellisheiði (330 MW), the geothermal coolant of which is supplied to Reykjavik, located at a distance of 27 km from it. This station is equipped with an installed system for the utilization of carbon dioxide into carbonate underground rocks. Power units with binary cycles were built at two GeoPPs: Husavik (2 MW) in the Kalina cycle and Svartsergi (7×1.2 MW) with organic coolant. It is noted that Iceland has the world's largest geothermal heat generation (2373 MW, 9340 GW h (2021)), with heating predominating (1650 MW; 6840 GW h (2021)). The most powerful heat-supply system in the country and in the world, in Reykjavik, is described: its capacity is 1150 MW and the length is 2230 km. Data are presented on the nonenergy use of geothermal water in fish farms, swimming pools, greenhouses, and carbon dioxide utilization plants. It is concluded that the experience of Iceland is especially significant for the development of geothermal energy in Russia.

Keywords: geothermal fields, wells, supercritical parameters, reinjection, power generation, GeoPP, fuel and energy balance, steam turbines, steam separation, binary power units, carbon dioxide utilization, heat generation, geothermal technologies

**ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО,
ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА
И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОБРАЗОВАНИЕ
ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СТУПЕНЧАТОМ СЖИГАНИИ
НИЗКОРЕАКЦИОННОГО УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРЯМОТОЧНЫХ ГОРЕЛОК¹**

© 2023 г. В. Б. Прохоров^а, *, С. Л. Чернов^а, В. С. Киричков^а, В. Д. Апаров^а

^аНациональный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,
Красноказарменная ул., д. 14, Москва, 111250 Россия

*e-mail: ProkhorovVB@mail.ru

Поступила в редакцию 06.02.2023 г.

После доработки 23.02.2023 г.

Принята к публикации 30.03.2023 г.

Уголь остается одним из главных видов минерального топлива в России, особенно в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. При этом требования к сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу, в том числе оксидов азота NO_x , ужесточаются как в России, так и во всем мире. В этой связи перспективно применение вихревого способа сжигания угля с помощью шелевых горелок и сопел коллективного действия при ступенчатой подаче воздуха на горение. Однако при сжигании низкореакционного угля возникает необходимость добиться высокой полноты его сгорания, которую можно обеспечить только при правильной организации аэродинамики топки, включающей в себя расположение горелок и сопел, а также при оптимальном распределении долей первичного, вторичного и третичного воздуха. На примере вихревого сжигания тощего кузнецкого угля с использованием прямоточных горелок и сопел рассматривается возможность снижения выбросов оксидов азота при ступенчатом сжигании топлива. В качестве объекта исследования принят котел паропроизводительностью 500 т/ч с твердым шлакоудалением. Две схемы сжигания угля были выбраны ранее с помощью численного и физического моделирования. Согласно проведенным расчетам обе схемы обеспечивают низкие тепловые потери с механическим недожогом – на уровне 0.7–1.9%. Численное моделирование процесса вихревого горения показало, что высокие максимальные температуры в зоне зажигания топлива при низких избытках воздуха не способствуют образованию оксидов азота, а, наоборот, содействуют их подавлению благодаря повышенной концентрации продуктов пиролиза в основной зоне горения. Температура на начальном этапе горения должна составлять примерно 2000 К, и этот показатель является более важным в сравнении с уменьшением избытков первичного воздуха с 0.3 до менее 0.1.

Ключевые слова: пылеугольные топki, ступенчатое сжигание, вихревое горение, прямоточные горелки и сопла, прямое вдувание, промежуточный бункер пыли, численное моделирование, продукты пиролиза, тепловые потери, механический недожог, оксиды азота

DOI: 10.56304/S0040363623090059

Investigation into the Influence of Temperature on the Formation of Nitrogen Oxides during the Staged Combustion of Low-Reactive Coal with the Use of Direct-Flow Burners

V. B. Prokhorov^{a, *}, S. L. Chernov^a, V. S. Kirichkov^a, and V. D. Aparov^a

^a National Research University Moscow Energy Institute, Moscow, 111250 Russia

*e-mail: ProkhorovVB@mail.ru

Abstract—Coal remains one of the main types of mineral fuel in Russia, especially in the Siberian and Far Eastern federal districts. At the same time, the requirements for reducing emissions of harmful substances into the atmosphere, including nitrogen NO_x , are becoming tougher both in Russia and around the world. In this regard, it is promising to use the vortex method of coal combustion using slot burners and collective action nozzles with a stepped air supply for combustion. However, when burning low-reactivity coal, it becomes necessary to achieve high combustion efficiency, which can only be ensured with the correct organization of the furnace aerodynamics, including the location of burners and nozzles, as well as with the optimal distribution of the shares of primary, secondary, and tertiary air. Using the example of vortex combustion of lean Kuznetsk coal using direct-flow burners and nozzles, the possibility of reducing nitrogen oxide emissions during staged fuel combustion is considered. A boiler with a steam capacity of 500 t/h with solid ash removal was taken as an object. Two schemes of coal combustion were chosen earlier with the help of numerical and physical modeling. According to the calculations, both schemes provide low heat losses with mechanical underburning, at the level of 0.7–1.9%. Numerical modeling of the vortex combustion process showed that high maximum temperatures in the fuel ignition zone at low air excesses do not contribute to the formation of nitrogen oxides, but, on the contrary, contribute to their suppression due to the increased concentration of pyrolysis products in the main combustion zone. The temperature at the initial stage of combustion should be approximately 2000 K, and this figure is more important than reducing the excess of primary air from 0.3 to less than 0.1.

Keywords: pulverized coal furnaces, staged combustion, vortex combustion, direct-flow burners and nozzles, dust injection, intermediate dust bin, numerical simulation, pyrolysis products, heat losses, mechanical underburning, nitrogen oxides

ТЕПЛОФИКАЦИЯ
И ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ
ДЛЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ TCN и CatBoost**

© 2023 г. С. Хан^а, М. Гонг^а, * J. Сун^а, Y. Zhao^а, L. Jing^а, С. Dong^б, Z. Zhao^с

^а*Tianjin Key Laboratory of Film Electronic and Communication Devices,
School of Integrated Circuit Science and Engineering, Tianjin University of Technology Tianjin, 300384 China*

^б*School of Computer Science and Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin, 300384 China*

^с*School of Social Sciences, Waseda University, Tokyo, Japan*

*e-mail: gmj790@163.com

Поступила в редакцию 10.07.2022 г.

После доработки 08.08.2022 г.

Принята к публикации 30.08.2022 г.

Для производства тепла и улучшения управления системами централизованного теплоснабжения (СЦТ) требуется точное прогнозирование тепловой нагрузки. Составить более достоверный прогноз можно с помощью наиболее передовых технологий. В настоящей статье для получения прогнозных данных о тепловой нагрузке СЦТ предложено использовать современные модели машинного обучения: временную сверточную сеть (temporal convolutional network – TCN) и категориальное повышение градиента (categorical boosting – CatBoost). Для проверки и сравнения работы моделей прогнозирования тепловой нагрузки TCN и CatBoost были выбраны две дополнительные показательные модели – дерево решений и множественная линейная регрессия. В качестве обучающего кейса для моделей использовались данные о тепловой нагрузке СЦТ в Тяньцзине (Китай). В качестве входных параметров для моделей выбирались две статистические рабочие характеристики (суточная и часовая тепловые нагрузки) СЦТ и четыре метеорологические (температура и относительная влажность наружного воздуха, скорость ветра и индекс качества воздуха). Представлены и проанализированы результаты прогноза по каждой из обученных моделей. Итоги расчетных экспериментов показали, что прогноз, полученный с помощью TCN и CatBoost, оказался более точным, чем с использованием классических моделей, при том что моделирование с CatBoost является более простым. Следовательно, методы TCN и CatBoost применимы для прогнозирования тепловой нагрузки СЦТ.

Ключевые слова: прогнозирование тепловой нагрузки, система централизованного теплоснабжения, CatBoost, TCN, дерево решений, линейная регрессия, глубокое обучение, машинное обучение, модель прогноза временного ряда

DOI: 10.56304/S0040363623090047

Heat Load Prediction for District Heating Systems with Temporal Convolutional Network and CatBoost

C. Han^a, M. Gong^{a, *}, J. Sun^a, Y. Zhao^a, L. Jing^a, C. Dong^b, and Z. Zhao^c

^a *Tianjin Key Laboratory of Film Electronic and Communication Devices, School of Integrated Circuit Science and Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin, 300384 China*

^b *School of Computer Science and Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin, 300384 China*

^c *School of Social Sciences, Waseda University, Tokyo, Japanese*

**e-mail: gmj790@163.com*

Abstract—Accurate heat load prediction is essential for heat production and refined management of district heating systems (DHSs). More advanced technology can often achieve more accurate forecasts. This paper suggests using temporal convolutional network (TCN) and categorical boosting (CatBoost) for heat load prediction. To test the performance of TCN and CatBoost in heat load prediction missions, two additional benchmark models, the decision tree model (DT) and the statistically based multiple linear regression (MLR), are built for comparison. A DHS in Tianjin, China, is used as the study case. Two historical operational characters (day-ahead heat load and hour-ahead heat load) and four meteorological characters (outdoor temperature, relative humidity, wind scale, and air quality index) are selected as input features for the models. The prediction results of every model on the test set are displayed and discussed. The experimental findings indicate that the prediction results of TCN and CatBoost are more accurate than the traditional prediction models, while the modeling process of CatBoost is simpler. Overall, TCN and CatBoost are potential heat load prediction methods.

Keywords: heat load prediction, district heating system, CatBoost, TCN, decision tree, linear regression, deep learning, machine learning, time series, prediction model

Журнал “Теплоэнергетика” и реклама Вашей деятельности!

Журнал **Теплоэнергетика** разместит на своих страницах рекламную информацию о новых научных идеях в области энергетических технологий; модернизации оборудования тепловых и атомных электростанций; методах, повышающих эксплуатационную надежность их работы, экологические и экономические показатели; приборах и средствах автоматического контроля и управления технологическими процессами, новых материалах; процессах и аппаратах, обеспечивающих экономию тепла потребителями. Принимается реклама на новые печатные издания.

Примите наше предложение, и успех Вашей деятельности гарантирован!

Порядок подачи статей в журнал изменен

Уважаемые авторы!

Напоминаем вам об изменениях в порядке подачи рукописей в журнал. С **сентября 2021 г.** статьи в журнал “Теплоэнергетика”/“Thermal Engineering” принимаются только через Портал Издательства “Pleiades Publishing”:

<https://publish.sciencejournals.ru/login>

Перед подачей статьи необходимо пройти процедуру регистрации на Портале. Для упрощения данной процедуры можно воспользоваться “*Инструкцией по регистрации авторов на портале Pleiades Publishing*”, размещенной на сайте журнала в разделе “Авторам”: <http://tepen.ru/avtoram/>. Там же размещена “*Инструкция по подаче статьи в журнал Теплоэнергетика*”, регламентирующая процесс подачи рукописей и сопроводительных материалов к ним.

В случае возникновения трудностей с регистрацией на портале и/или подачей статьи рекомендуется обращаться в редакцию журнала по адресу: tepnoen@mpei.ru

Возобновлена возможность размещения статей в открытом доступе в базе РИНЦ

После непродолжительной паузы журнал “Теплоэнергетика” объявляет о рестарте предоставления популярной услуги размещения статей в формате открытого доступа (Open Access) в базе “Российский индекс научного цитирования” на платформе eLibrary.ru.

Теперь у авторов вновь появляется уникальная возможность значительно ускорить знакомство специалистов с результатами исследований, привлечь внимание потенциальных инвесторов и научной общественности, обеспечить свои узнаваемость и цитируемость.

Более подробная информация о стоимости размещения рекламы в журнале, о порядке подачи статей, о стоимости и порядке размещения их в открытом доступе представлена на нашем сайте: www.tepen.ru