

Научная статья

УДК 536.46; 622.7; 533.6; 522.7

DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-4-65-72

Анализ эффективности теплосъёма поверхностей нагрева

**Андрей Геннадьевич Батухтин¹, Сергей Геннадьевич Батухтин²,
Александр Игоревич Якубович³, Надежда Сергеевна Кузнецова⁴**

^{1,2,3,4}*Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия*

¹batuhtina_ir@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3798-3675>,

²batihitin1@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8876-7764>, ³alexander_yakubovich75@mail.ru,

⁴kuznetsovans@zabgu.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0615-8928>

Информация о статье:

Статья поступила
в редакцию 13.11.2023

Одобрена после
рецензирования 15.11.2023

Принята к публикации
17.11.2023

Ключевые слова:

*котельный агрегат,
поверхность нагрева,
температура, теплосъём,
паровая и амперная
нагрузка, конвективная
шахта, дымосос,
аэродинамическое
сопротивление,
разряжение, температура
уходящих газов*

Изучение энергоэффективности и энергосбережения промышленных котельных агрегатов, в том числе применяемых на горноперерабатывающих предприятиях Забайкальского края, является актуальной темой исследования. Цель исследования – изучение эффективности работы поверхностей нагрева котельных агрегатов. Последовательно решались следующие задачи: оценить теплоперепады на поверхностях нагрева в конвективной шахте в зависимости от скорости дымовых газов, их объёма; выявить зависимость теплосъёма поверхностей нагрева от паровой и амперной нагрузки. Объект исследования – котельный агрегат типа БКЗ-210-140-10. Предмет исследования – характеристики поверхностей нагрева и их аэродинамическое сопротивление. Определены основные задачи исследования, изучены зависимости теплосъёма поверхностей нагрева от паровой нагрузки, сопротивления конвективной шахты и амперной нагрузки дымососов. Приведены результаты экспериментов по изучению теплоперепадов по поверхностям нагрева, теплосъёма от начальной температуры, амперной нагрузки тягодутьевых механизмов, температурной динамики уходящих газов и аэродинамического сопротивления за поверхностями нагрева при расходах перегретого пара от 90 до 210 т/ч. Установлена обратно пропорциональная зависимость теплоперепада на поверхностях нагрева и расхода пара. Показано снижение амперной нагрузки на дымососы и скорости потока отработавших газов в конвективной шахте при разгрузке котлоагрегата. Определено уменьшение аэродинамического сопротивления конвективной шахты, являющееся итогом снижения объёма газов и их скорости. Сделаны выводы об увеличении эффективности теплосъёма поверхностей при уменьшении скорости газов в конвективной части котла, которая напрямую зависит от амперной загрузки дымососов, что обусловлено изменением скорости питательной воды и воздуха в поверхностях нагрева не пропорционально скорости газов, проходящих через конвективную шахту. Определено: чем меньше скорость уходящих газов в конвективной шахте, тем более эффективна теплоотдача в топке и выше КПД.

Благодарность: Работа выполнена и подготовлена в рамках реализации государственного задания Министерства науки и высшего образования (соглашение № 075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г., регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 10230222000-2-2.7.3), тема № 123102000012-2 Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива.

Analysis of Heat Removal Efficiency of Heating Surfaces

Andrey G. Batukhtin¹, Sergey G. Batukhtin², Alexander I. Yakubovich³,
Nadezhda S. Kuznetsova⁴

^{1,2,3,4}Transbaikal State University, Chita, Russia

¹batuhtina_ir@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3798-3675>,

²batihin1@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8876-7764>, ³alexander_yakubovich75@mail.ru,

⁴kuznetsovans@zabgu.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0615-8928>

Information about the article:

Received 13 November, 2023

Approved after review
15 November, 2023

Accepted for publication
17 November, 2023

Keywords:

boiler unit, heating surface,
temperature, heat removal,
steam and ampere load,
convective shaft, smoke
pump, aerodynamic drag,
discharge, exhaust gas
temperature

The study of energy efficiency and energy saving of industrial boiler units, including those used at mining enterprises of the Transbaikal Territory, is an urgent scientific task. The purpose of the work is to study the efficiency of the heating surfaces of boiler units. The following tasks have been consistently solved: assessment of heat transfer on heating surfaces in a convective shaft depending on the flue gas velocity, their volume; identification of the dependence of heat removal of heating surfaces on steam and ampere load. The object of the research is a boiler unit of the BKZ type-210-140-10. The subject of the study is the characteristics of heating surfaces and their aerodynamic resistance. The main tasks of the study are determined; the dependences of the heat removal from heating surfaces on the steam load, the resistance of the convective shaft and the ampere load of the smoke pumps are studied. The experimental results concerning the study of heat transitions on heating surfaces, heat removal from the initial temperature, ampere load of draft mechanisms, temperature dynamics of exhaust gases and aerodynamic drag behind heating surfaces at superheated steam consumption from 90 to 210 tons/hour are presented. An inversely proportional dependence of the heat transfer on the heating surfaces and the steam flow is established. The reduction of the ampere load on the flue pumps and the exhaust gas flow rate in the convective shaft during unloading of the boiler unit is shown. A decrease in the aerodynamic drag of the convective shaft is determined, which is the result of a decrease in the volume of gases and their velocity. Conclusions are drawn about an increase in the efficiency of heat removal of surfaces with a decrease in the velocity of gases in the convective part of the boiler, which directly depends on the ampere loading of the flue pumps, which is due to a change in the velocity of feed water and air in the heating surfaces that is not proportional to the velocity of gases passing through the convective shaft. It is determined that the lower the velocity of the exhaust gases in the convective shaft, the more efficient the heat transfer in the furnace and the higher the efficiency.

Acknowledgment: The work was completed and prepared within the framework of the implementation of the state task of the Ministry of Science and Higher Education (Agreement No. 075-03-2023-028/1 dated 05.10.2023, registration number in the USISU R&D 10230222000-2-2.7.3), topic No. 12310200012-2 Comprehensive study of the aerodynamic characteristics of plasma thermochemical fuel preparation systems.

Введение. Изучение проблем энергоэффективности и энергосбережения не теряет своей актуальности и является одним из приоритетных направлений развития промышленности и экономики. В полной мере это относится к горноперерабатывающей отрасли, которая является базисом экономического развития Забайкальского края¹. Подход к отдельным решениям в горнорудной отрасли имеет специфический характер, однако главным направлением повышения энерго-

эффективности остаётся разработка автономных систем электро- и теплоэнергетики [14], повышения их надёжности, изучения механизмов регуляции [1; 6–8]. Изучение взаимосвязей различных режимных параметров котельных агрегатов, их усовершенствование, оптимизация, несомненно, внесут свой вклад в обеспечение эффективного функционирования горной отрасли нашего края.

Актуальность. Недостатком многих эксплуатирующихся котельных агрегатов является недостаточно эффективная теплоотдача в топке, которая обуславливает высокую температуру уходящих газов (до 250 °С) и низкий коэффициент полезного действия (до 87 %)

¹ Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Забайкальского края на 15.03.2021 г. / ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках гос. задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 № 049-00016-21-00. – 6 с.

[2; 3; 5; 9]. Для решения этой проблемы необходимо дальнейшее изучение методов интенсификации топочного теплообмена с учётом процессов аэродинамики, распределения градиентов температур, скоростей и полноты протекания окислительных процессов. Одним из путей повышения эффективности использования топлива в котельных установках, и соответственно увеличения их коэффициента полезного действия, уменьшения количества загрязняющих газообразных выбросов, является интенсификация теплообмена и теплоотдачи в топочной камере [11; 13; 15; 16].

Объект исследования – котельный агрегат типа БКЗ-210-140-10. **Предмет исследования** – характеристики поверхностей нагрева и их аэродинамическое сопротивление. **Цель исследования** – изучение эффективности работы поверхностей нагрева котельных агрегатов. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**: оценка теплосъёмов на поверхностях нагрева в конвективной шахте в зависимости от скорости дымовых газов, их объёма; выявление зависимости теплосъёма поверхностей нагрева от паровой и амперной нагрузки.

Методология и методы исследования. Информационный анализ, патентный поиск, оценка имеющихся научных разработок в области теплосъёма поверхностей нагрева, методы организации теоретических и экспериментальных исследований с использованием лабораторных методов изучения зависимостей теплосъёма поверхностей нагрева от паровой нагрузки, сопротивления конвективной шахты и амперной нагрузки дымососов.

Котельный агрегат типа БКЗ-210-140-10 однобарабанный, вертикально-водот-

рубный, с естественной циркуляцией, газоплотный с мембранными панелями [4; 12]. Номинальные характеристики: производительность 210 т/час; давление в барабане котла 154 кгс/см²; давление перегретого пара 140 кгс/см²; температура перегретого пара 540 °С, температура питательной воды 230 °С [10].

Замеры производились при расходах перегретого пара 90, 120, 150, 180, 210 т/ч. При различных нагрузках изучали следующие параметры: 1) температура уходящих газов за поверхностями нагрева (на выходе из топки, за пароперегревателем, водяным экономайзером (ВЭК), воздухоподогревателем (ВЗП) первой и второй ступеней, за скрубберами); 2) аэродинамическое сопротивление за поверхностями нагрева (пароперегревателем, нижней ступенью воздухоподогревателя – перед и после золоулавливающей установкой); 3) положение шибров тягодутьевых механизмов (ТДМ) и их амперная нагрузка¹.

Разработанность темы. Учёные энергетического факультета ЗабГУ активно занимаются изучением комплексной научной проблемы развития региональной энергетики путём разработки взаимосвязанных методических подходов, теоретических и экспериментальных исследований, построения математических моделей, направленных на совершенствование технологий тепловой и нетрадиционной энергетики [9; 15], однако вопросы повышения эффективности теплосъёма поверхностей котельных агрегатов в зависимости от режимных параметров изучены недостаточно.

Результаты исследования. Результаты замеров температуры и разряжения по поверхностям нагрева приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Температура и разряжение по поверхностям нагрева / Temperature and vacuum on heating surfaces¹

Поверхность газового тракта / Surface of the gas path	210 м/ч / 210 т/ч		180 м/ч / 180 т/ч		150 м/ч / 150 т/ч		120 м/ч / 120 т/ч		90 м/ч / 90 т/ч	
	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.
На выходе из топки / At the exit of the furnace	1103	3	1063	3	965	3	930	3	899	3

¹ Тепловой расчёт котельных агрегатов. Нормативный метод / под ред. Н. В. Кузнецова. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 296 с.

Окончание табл. 1 / End the table 1

Поверхность газового тракта / Surface of the gas path	210 м ³ /ч / 210 t/h		180 м ³ /ч / 180 t/h		150 м ³ /ч / 150 t/h		120 м ³ /ч / 120 t/h		90 м ³ /ч / 90 t/h	
	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.	T, °C	Разряжение, мм вод. ст. / Discharge, mm of water art.
За пароперегревателем, 24 м / Behind the superheater, 24 m	473	15	461,5	13	445	12	427	12,8	428	11
За ВЭК 2 ступень, 21 м / Behind the water economizer 2nd stage, 21 m	421,25	27	410,5	25	398,5	24	381	24	383	21
За ВЗП 2 ступень / Behind the air heater 2nd stage, 21 m	376,5	54	366,5	50	350,25	49	331,25	48	335	45
За ВЭК 1 ступень, 13 м / Behind the water economizer 1st stage, 13 m	275	78	269,25	74	263	73	246	69	253	63
За ВЗП 1 ступень / Behind the air heater 1st stage	175	160	173,5	133	164,25	125	149	95	160	84
За скрубберами / Behind the scrubbers	88	220	86	187	78	175	73	125	69	110

Таблица 2 / Table 2

Теплоперепады по поверхностям нагрева / Heat differences across heating surfaces

Срабатывание температур (°C) / Temperature triggering					
Поверхность нагрева / Heating surface	Нагрузка (м ³ /ч) / Load (t/h)				
	210	180	150	120	90
Пароперегреватели / Superheaters	630,0	601,5	520,0	505,0	471,0
ВЭК 2 ступень / Water economizer 2 stage	51,8	51,0	46,5	46,0	45,0
ВЗП 2 ступень / Air heater 2 stage	44,8	44,0	48,3	49,8	48,0
ВЭК 1 ступень / Water economizer 1 stage	101,5	97,3	87,3	85,3	82,0
ВЗП 1 ступень / Air heater 1 stage	100,0	95,75	98,75	97,00	93,00

Теплоперепады по поверхностям нагрева конвективной шахты в зависимости от температуры приведены в табл. 2.

Так как замеры производились на различной тепловой нагрузке, сравнение теплоперепадов некорректно, поскольку темпера-

тура газов на выходе из топки различна, поэтому для сравнительной оценки рассчитали процент теплосъема (где 100 % – температура на выходе из топки, а искомый процент – температура, поглощаемая поверхностью нагрева). Результат представлен в табл. 3.

Таблица 3 / Table 3

Значения теплосъема от начальной температуры (%) / Heat removal values from initial temperature (%)

Пароперегреватели / Superheaters	100 %				
Пароперегреватели / Superheaters	8,21	8,48	8,94	8,51	10,61
ВЭК 2 ступень / Water economizer 2 stage	7,10	7,32	9,28	10,05	6,76
ВЗП 2 ступень / Air heater 2 stage	16,11	16,17	16,78	16,88	17,07
ВЭК 1 ступень / Water economizer 1 stage	15,87	15,92	18,99	19,21	19,35

Амперная нагрузка электродвигателей тягодутьевых механизмов (ТДМ) приведена в табл. 4.

Графики зависимости теплосъёма поверхностей нагрева от паровой нагрузки изображены на рис. 1; сопротивления конвективной шахты и амперной нагрузки дымососов (рис. 2); взаимосвязь теплосъёма поверхностей нагрева и амперной нагрузки дымососов (рис. 3).

Как видно из графика на рис. 1, теплосъём на поверхностях нагрева увеличивается обратно пропорционально расходу пара. При разгрузке котлоагрегата снижается амперная нагрузка на дымососы, следовательно, снижается скорость потока отработавших газов в конвективной шахте. Данный факт отражен на рис. 2, 3. Уменьшение аэродинамического сопротивления конвективной шахты является итогом снижения объёма газов и их скорости.

Таблица 4 / Table 4

Амперная нагрузка тягодутьевых механизмов / Ampere loading of draft mechanisms

ТДМ / Draft mechanism	Амперная нагрузка, А / Ampere loading				
Дымосос 1 / Smoke exhauster 1	40,5	39	37,5	37	36,5
Дутьевой вентилятор 1 / Blower fan 1	38,5	38	37	33	21

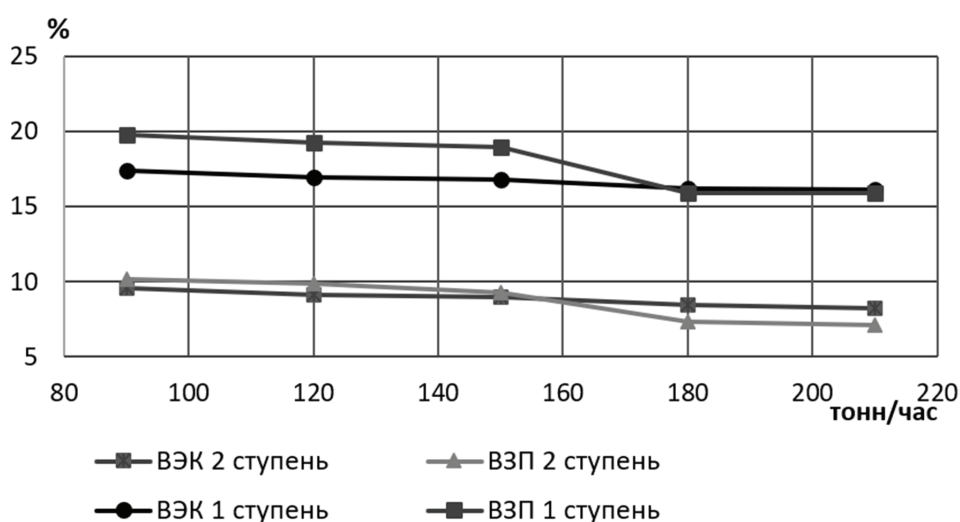


Рис. 1. Зависимость теплосъёма поверхностей нагрева от паровой нагрузки /
Fig. 1. Dependence of heat removal from heating surfaces on steam load

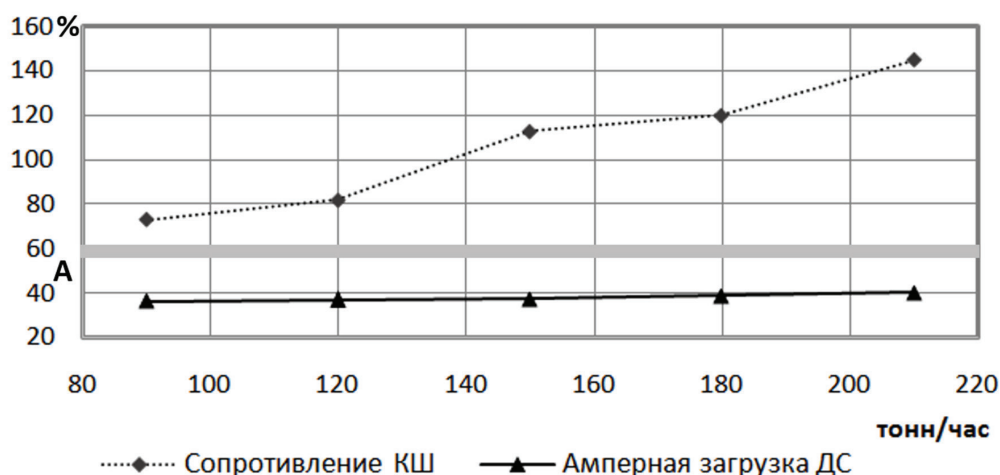


Рис. 2. Сопротивление конвективной шахты (КШ) и амперная нагрузка дымососов (ДС) /
Fig. 2. Resistance of the convective shaft and ampere load of smoke exhausters

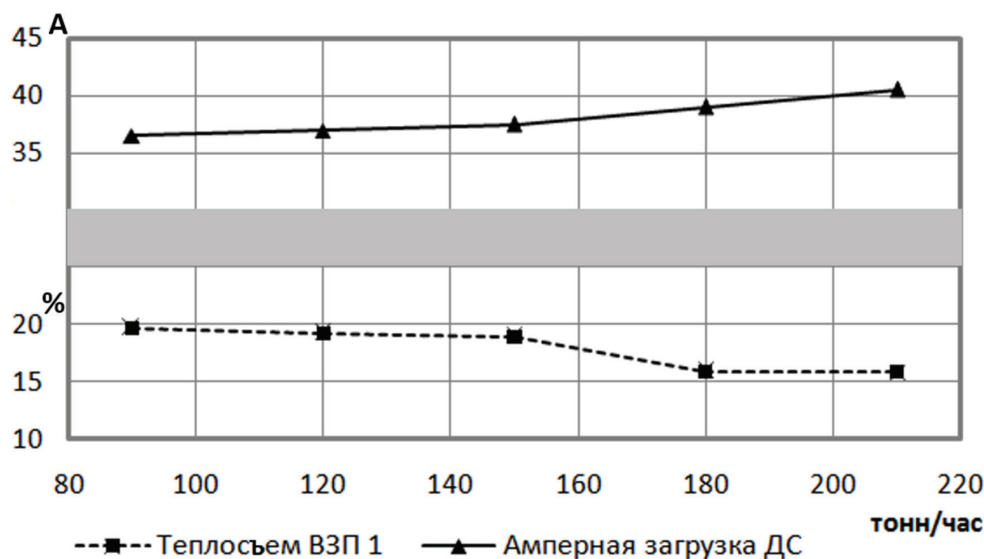


Рис. 3. Зависимость теплосъема поверхностей нагрева и амперной нагрузки дымососов (ДС) /
Fig. 3. Dependence of heat removal from heating surfaces and ampere load of smoke exhausters

Выводы. Таким образом, установлено, что при уменьшении скорости газов в конвективной части котла, которая напрямую зависит от амперной нагрузки дымососов, эффективность теплосъема поверхностей увеличивается, так как изменение скорости питатель-

ной воды и воздуха в поверхностях нагрева изменяются не пропорционально скорости газов, проходящих через конвективную шахту. Показано, чем меньше скорость уходящих газов в конвективной шахте, более эффективна теплоотдача в топке и выше КПД.

Список литературы

1. Архипов М. А., Юрков Д. А. Трехмерное численное моделирование аэродинамики топочного объема котла в изотермических условиях // Электрические станции. 1999. № 11. С. 17–20.
2. Бутаков И. Н. Коэффициент полезного действия теплосилового устройства и энергосистемы // Известия Томского политехнического университета. 1948. № 2. С. 3–45.
3. Вагнер А. А. Повышение надежности, экономичности и экологической эффективности работы котла БКЗ-210-140Ф при переводе на ступенчатое сжигание кузнецкого угля в U-образном факеле // Электрические станции. 2004. № 5. С. 17–21.
4. Гумеров И. Р., Зайнуллин Р. Р. Особенности работы прямоточных паровых котлов и котлов с естественной циркуляцией // Теория и практика современной науки. 2017. № 4. С. 289–292.
5. Ершова И. Г., Ершов М. А., Поручиков Д. В. Энергосберегающие системы на нетрадиционных источниках энергии для промышленных и инфраструктурных объектов: монография. Чебоксары: Чувашский гос. пед. ун-т им. И. Я. Яковлева, 2016. 170 с.
6. Лаптев А. Г., Николаев Н. А., М. М. Башаров М. М. Методы интенсификации и моделирования теплообменных процессов: монография. М.: Теплотехник, 2011. 335 с.
7. Монакова Т. И. Анализ схемы использования сбросной теплоты ТЭС методом сравнения потерь эксергии // Теплоэнергетика. 1984. № 9. С. 35–37.
8. Ноздренко Г. В., Квирившвили А. Р. Методика определения конструктивно-компоновочных параметров оборудования паропарового энергоблока // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2009. № 1. С. 107–116.
9. Середкин А. А., Батухтин С. Г., Батухтин А. Г. Проблемы энергоэффективности теплоснабжения в Забайкальском крае: монография. Чита: ЗабГУ, 2021. 288 с.
10. Трёмбовля В. И., Фингер Е. Д., Авдеева А. А. Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергоатомиздат, 1991. 416 с.
11. Файрушин Р. Р., Гафуров А. М. Коэффициент тепловой эффективности экранов // Теория и практика современной науки. 2017. № 2. С. 571–574.
12. Фомин М. Д. Реконструкция котла БКЗ-210-140 Владимирской ТЭЦ-2. Иваново: Ивановский гос. энерг. ун-т, 2020. 107 с.

13. Шельгин Б. Л., Мошкарин А. В., Малков Е. С. Тепловая эффективность использования уходящих газов котла-утилизатора при сжигании дополнительного топлива // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2012. № 4. С. 8–12.
14. Шклярский Я. Э., Скамын А. Н., Хименес Карризо М. Энергоэффективность в минерально-сырьевом комплексе // Записки Горного института. 2023. № 261. С. 323–324.
15. Batukhtin A., Batukhtina I., Baranovskaya M., Batukhtin S., Kobylkin M. Obtaining a solution of a differential equations system for determining the heat networks retention // International journal of mechanical engineering and technology. 2018. Vol. 9, no. 7. P. 1300–1320.
16. Mills A. F., Chung D. K. Heat transfer across turbulent falling films // Int. J. Heat Mass Transfer. 1973. Vol. 16, no. 4. P. 694.

References

1. Arkhipov M. A., Yurkov D. A. Three-dimensional numerical modeling of the aerodynamics of the boiler combustion chamber under isothermal conditions. Electric Stations, no.11, pp. 17–20, 1999. (In Rus.).
2. Butakov I. N. Efficiency of thermal power plant and energy system. Proceedings of Tomsk Polytechnic University, no. 2, pp. 3–45, 1948. (In Rus.).
3. Vagner A. A. Increasing the reliability, efficiency and environmental efficiency of the BKZ-210-140F boiler when switching to stepwise combustion of Kuznetsk coal in a U-shaped torch. Electric station, no. 5, pp. 17–21, 2004. (In Rus.).
4. Gumerov I. R., Zainullin R. R. Features of the operation of once-through steam boilers and boilers with natural circulation. Theory and practice of modern science, no. 4, pp. 289–292, 2017. (In Rus.).
5. Ershova I. G., Ershov M. A., Poruchikov D. V. Energy-saving systems based on non-traditional energy sources for industrial and infrastructure facilities: monograph. Cheboksary: Chuvash State Pedagogical University Publ., 2016. (In Rus.).
6. Laptev A. G., Nikolaev N. A., M. M. Basharov M. M. Methods of intensification and modeling of heat and mass transfer processes: monograph. Moscow: Teplotekhnika, 2011. (In Rus.).
7. Monakova T. I. Analysis of the scheme for using waste heat from thermal power plants using the method of comparing exergy losses. Thermal power engineering, no. 9, pp. 35–37, 1984. (In Rus.).
8. Nozdrenko G. V., Kvrivishvili A. R. Methodology for determining the design and layout parameters of steam power unit equipment. Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University, no. 1, pp. 107–116, 2009. (In Rus.).
9. Seredkin A. A., Batukhtin S. G., Batukhtin A. G. Problems of energy efficiency of heat supply in the Transbaikal Territory: monograph. Chita: Transbaikal State University, 2021. (In Rus.).
10. Trembovlya V. I., Finger E. D., Avdeeva A. A. Thermal testing of boiler installations. Moscow: Energoatomizdat, 1991. (In Rus.).
11. Fairushin R. R., Gafurov A. M. Thermal efficiency coefficient of screens. Theory and practice of modern science, no. 2, pp. 571–574, 2017. (In Rus.).
12. Fomin M. D. Reconstruction of the boiler BKZ-210–140 at the Vladimir CHPP-2. Ivanovo: Ivanovo State Energy University, 2020. (In Rus.).
13. Shelygin B. L., Moshkarin A. V., Malkov E. S. Thermal efficiency of using exhaust gases from a waste heat boiler when burning additional fuel. Bulletin of Ivanovo State Energy University, no. 4, pp. 8–12, 2012. (In Rus.).
14. Shklyarsky Ya. E., Skamin A. N., Jimenez Carrizoza M. Energy efficiency in the mineral resource complex. Notes of the Mining Institute, no. 261, pp. 323–324, 2023. (In Rus.).
15. Batukhtin A., Batukhtina I., Baranovskaya M., Batukhtin S., Kobylkin M. Obtaining a solution of a differential equations system for determining the heat networks retention. International journal of mechanical engineering and technology, vol. 9, no. 7, pp. 1300–1320, 2018. (In Eng.).
16. Mills A. F., Chung D. K. Heat transfer across turbulent falling films. Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 16, no. 4, pp. 694, 1973. (In Eng.).

Информация об авторах

Батухтин Андрей Геннадьевич, д-р техн. наук, доцент кафедры энергетики, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; batukhtina_ir@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3798-3675>. Область научных интересов: совершенствование технологий тепловой и нетрадиционной энергетики для повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения.

Батухтин Сергей Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры энергетики, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; batihtin1@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8876-7764>. Область научных интересов: разработка методов оптимизации режимов на ТЭЦ.

Якубович Александр Игоревич, магистрант группы ТЭСМ-22, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; alexander_yakubovich75@mail.ru. Область научных интересов: системы теплоснабжения, использующие возобновляемые источники энергии.

Кузнецова Надежда Сергеевна, канд. биол. наук, доцент кафедры химии, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; kuznetsovans@zabgu.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0615-8928>. Область научных интересов: создание и исследование свойств композиционных материалов.

Information about authors

Batukhtin Andrey G., doctor of technical sciences, associate professor, Energy department, Transbaikal State University, Chita, Russia; batuhtina_ir@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3798-3675>. Research interests: improvement of thermal and non-traditional energy technologies to increase the efficiency of district heating systems.

Batukhtin Sergey G., candidate of technical sciences, associate professor, Energy department, Transbaikal State University, Chita, Russia; batihtin1@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8876-7764>. Research interests: development of methods for optimizing modes at thermal power plants.

Yakubovich Alexander I., master degree student, TESm-22 group, Transbaikal State University, Chita, Russia; alexander_yakubovich75@mail.ru. Research interests: heat supply systems using renewable energy sources.

Kuznetsova Nadezhda S., candidate of biological sciences, associate professor, Chemistry department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Research interests: creation and research of properties of composite materials.

Вклад авторов в статью

- А. Г. Батухтин – разработка методологии исследования, плана статьи, численные эксперименты.
- С. Г. Батухтин – численные исследования, анализ результатов.
- А. И. Якубович – сбор материалов, написание текста статьи.
- Н. С. Кузнецова – анализ литературы, подбор библиографии, редактирование текста.

The authors' contribution to the article

- A. G. Batukhtin – development of research methodology, outline of the article, numerical experiments.
- S. G. Batukhtin – numerical studies, analysis of results.
- A. I. Yakubovich – collecting materials, writing the text of the article.
- N. S. Kuznetsova – literature analysis, selection of bibliography, text editing.

Для цитирования

Батухтин А. Г., Батухтин С. Г., Якубович А. И., Кузнецова Н. С. Анализ эффективности теплосъёма поверхностей нагрева // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 4. С. 65–72. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-4-65-72.

For citation

Batukhtin A.G., Batukhtin S. G., Yakubovich A. I., Kuznetsova N. S. Analysis of the heat removal efficiency of heating surfaces // Transbaikal State University Journal. 2023. Vol. 29, no. 4. P. 65–72. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-4-65-72.