

СТРОИТЕЛЬСТВО

CONSTRUCTION

УДК 621.644:620.197.5

DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-2-74-84

Исследование процесса генерации термоэлектричества при утилизации низкопотенциального тепла сбросных газов

С. В. Ежов, Е. Н. Семичева ✉, А. П. Бурцев,
В. И. Зенченков, Д. А. Ермаков

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94

✉ e-mail: nsemicheva@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Целью исследования является разработка экспериментальной конструкции комплексного воздухоподогревателя, проведение и анализ экспериментов, а также, определение основных характеристик термоэлектрического генератора при утилизации низкопотенциального тепла сбросных газов.

Методы. Экспериментальная установка состоит из двух блоков – термоэлектрического генератора, работающего по принципу перекрестного теплообмена, для утилизации тепла с параллельным нагревом приточного воздуха, который подается в виде смеси в горелочное устройство котельного агрегата, и блока-адсорбера, заполненного доменным шлаком для очистки сбросных газов от оксидов азота, серы и углерода. Для достижения поставленных целей в работе за основу предлагается использовать эффект термоэлектричества, работающий по принципу преобразования тепловой энергии в электричество при разности температур между горячими и холодными спаями в термоэлектрических секциях, состоящих из двух разных по свойству электроотрицательности металлов. Одновременно происходит интенсификация процесса адсорбции вредных компонентов гранулированными доменными шлаками в комплексном воздухоподогревателе, что снижает теплосодержание и температуру сбросных газов, уменьшает выбросы дымовых газов и, как следствие, повышает экологическую безопасность, прилегающей к котельной территории. В том числе проводилось исследование противоточного теплообмена в конструкции термоэлектрического генератора.

Результаты. Главным результатом проведенной исследовательской работы является разработка экспериментальной конструкции комплексного воздухоподогревателя, методики проведения эксперимента и определение основных характеристик процесса генерации термоэлектричества.

Закключение. Применение такого комплексного воздухоподогревателя позволяет повысить эффективность теплогенерирующих установок малой, средней и большой мощности, установленных в центральных производственно-отопительных котельных, индивидуальных домах многоквартирного и одноквартирного типов. Полученную электроэнергию с последующим преобразованием можно использовать для энергоснабжения автоматики котлов малой, средней и большой мощности, а также энергоснабжения станции катодной защиты от электрохимической коррозии хвостовых поверхностей, образующейся в результате наличия водяных паров в сбросных газах.

Ключевые слова: термоэлектричество; электроснабжение; теплогенерирующая установка; коэффициент теплопередачи; спай; плотность; кинематическая вязкость; температуропроводность; дымовые газы.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Исследование процесса генерации термоэлектричества при утилизации низкопотенциального тепла сбросных газов / С. В. Ежов, Е. Н. Семичева, А. П. Бурцев, В. И. Зенченков, Д. А. Ермаков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23, № 2. С. 74-84. DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-2-74-84.

UDC 621.644:620.197.5

DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-2-74-84

Study of the Process of Generation of Thermoelectricity in Low Grade Heat Recovery of Waste Gases

Vladimir S. Ezhov, Natalia E. Semicheva ✉, Aleksey P. Burtsev,
Vladimir I. Zenchenkov, Dmitrii A. Ermakov

Southwest State University, 94, 50 Let Oktyabrya str., Kursk, 305040, Russian Federation

✉ e-mail: nsemicheva@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. The purpose of the study is to develop an experimental design of an integrated air heater, conduct and analyze experiments as well as to determine the main characteristics of a thermoelectric generator in low-grade heat recovery of waste gases.

Methods. The experimental unit consists of two blocks – a thermoelectric generator operating on the principle of cross heat exchange for heat recovery with concurrent heating of the incoming air, which is supplied as a mixture to the burner device of the boiler unit; and an adsorber block filled with blast furnace slag for cleaning the waste gases from nitrogen, sulphur and carbon oxides. To achieve these goals, the work is based on the proposed thermoelectricity effect, which works on the principle of converting thermal energy into electricity at a temperature difference between hot and cold junctions in thermoelectric sections consisting of two metals different in their electronegativity. At the same time, in an integrated air heater, the intensification of the process of adsorption of harmful components by granulated blast furnace slag takes place, which reduces the heat content and temperature of waste gases, reduces emissions of flue gases and, as a result, increases environmental safety of the area adjacent to the boiler. In particular, the study of countercurrent heat exchange in the design of the thermoelectric generator was carried out.

Results. The main result of the research work is the development of an experimental design of an integrated air heater, an experimental technique and the determination of the main characteristics of the thermoelectricity generation process.

Conclusion. The use of such an integrated air heater can improve the efficiency of heat-generating units of low, medium and high power installed in the central heating stations, multi-family and single-family houses. The gained electric power with the subsequent transformation can be used for power supply of automatic equipment of boilers of low, medium and high power, and for power supply of the stations of cathodic protection against electrochemical corrosion of back-end surfaces formed as a result of the presence of water vapors in waste gases.

Keywords: thermoelectricity; power supply; heat generating unit; heat transfer coefficient; junction; density; kinematic viscosity; thermal diffusivity; flue gases.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Ezhov V. S., Semicheva N. E., Burtsev A. P., Zenchenkov V. I., Ermakov D. A. *Study of the Process of Generation of Thermoelectricity in Low Grade Heat Recovery of Waste Gases. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(2): 74-84 (In Russ.). DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-2-74-84.

Введение

Актуальной проблемой развития топливно-энергетического и жилищно-коммунального комплексов Российской Федерации является проблема энергосбережения и экологической безопасности. Решение данных проблем позволит обеспечить устойчивый рост эффективности получения и распределения тепловой энергии от источника до конечного потребителя. С этим тесно связан экономический рост страны, улучшение экологической обстановки и безопасность жизнедеятельности населения [1].

Одним из главных направлений повышения эффективности теплогенерирующих установок является применение устройств и комплексов оборудования по снижению теплосодержания и температуры дымовых газов, уменьшение выбросов дымовых газов и как следствие повышение экологической безопасности, прилегающей к котельной территории. Для достижения поставленных целей в работе предлагается использовать эффект термоэлектричества, что обеспечивает автономное электроснабжение противокоррозионного оборудования и интенсификации процесса адсорбции вредных компонентов гранулированными доменными шлаками в комплексном воздухоподогревателе [2].

Применение в котельных оборудования [3] глубокой утилизации тепла

или установок использования скрытой теплоты парообразования уходящих дымовых газов (например, контактных теплообменников, воздухоподогревателей) повышает общий КПД котельной на 1-3%.

Воздухоподогреватели [4, 5] позволяют утилизировать тепловыделения от котлов путем контакта дымовых газов и дутьевого воздуха, подаваемого дутьевым вентилятором из верхней зоны котельной (воздухоподогреватели различного типа повышают экономию топлива на 1-4%).

Для осуществления повышения степени утилизации тепла сбросных газов использовали эффект термоэлектричества – явления прямого преобразования теплоты в электричество в проводниках при прямом нагреве и охлаждении спаев двух проводников проходящим током. Получаемая на начальном этапе термоэлектрическая эмиссия зависит только от физико-химических параметров используемых материалов и в большей степени от температур горячего и холодного элементов (спаев) [6].

В основе эффекта термоэлектричества лежит процесс попутного получения электричества в результате термоэлектрической эмиссии электронов при разности температур из низкопотенциальной теплоты в термоэлектрических преобразователях, которые состоят из разных по физико-химическим и элек-

троотрицательным параметрам металлов, соединенных между собой на противоположных концах точечной сваркой [7].

Материалы и методы решения задачи

Для достижения вышеуказанных целей была разработана экспериментальная установка и проведены эксперименты, на основании которых разработана методика расчета основных характеристик термоэлектрических генераторов.

В процессе проведения эксперимента для нагревания горячих спаев использовался горячий воздух, подогретый в калорифере, а для охлаждения и рассеивания тепла использовался холодный воздух, забираемый из помещения лаборатории с помощью канального вентилятора.

Для более глубокого изучения противоточного теплообмена в конструкции комплексного воздухоподогревателя в процессе проведения эксперимента фиксировались скорости и массовый расход. Опыты по изучению теплообмена при противотоке в термоэлектрической секции проводились для ряда фиксированных скоростей и расхода воздуха на экспериментальной установке [8, 9, 10].

Экспериментальная установка с описанием основных конструктивных элементов приведена на рисунке 1.

Основными характеристиками термоэмиссионных элементов, сделанных

из хромели (М1) и копели (М2), являются: коэффициент термоЭДС $\alpha = 12,97 \cdot 10^{-3}$ В/К; добротность $Z = 2,8 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹; коэффициент электропроводимости $\sigma = 8 \cdot 10^4$ Ом⁻¹·м⁻¹ [10, 11].

Показания ртутных термометров в точках на входе и на выходе их воздухоподогревателя определялись как среднеарифметическая. Средняя скорость воздуха в каналах термоэлектрических секций определялась по выражению

$$\bar{\omega} = c_n \cdot \omega_{анем}, \quad (1)$$

где $c_n = 0,91$ – коэффициент неравномерности расхода.

Тепловая мощность воздушного потока, проходящего через щели термоэлектрического генератора, определялась из расчетного уравнения теплового баланса:

$$Q' = \bar{\gamma}_e \cdot \bar{G}_{кан} \cdot (t'_{вых} - t'_{вх}) \cdot 10^3, \quad (2)$$

где $\bar{\gamma}_e = c_e \cdot \rho_e$, c_e , ρ_e – теплосодержание и массовая плотность при средней температуре, кДж/(кг °С), кг/м³; $\bar{G}_{кан}$ – массовый расход в канале воздухоподогревателя $\bar{G}_{кан} = \bar{\omega} \cdot F_{кан}$, м³/ч; $t'_{вх}, t'_{вых}$ – измеряемые температуры горячего потока воздуха на входе и выходе из канала теплообменного элемента, для прохода нагреваемой воздушной среды, °С; $F_{кан}$ – площадь поперечного сечения канала, измеряемая исходя из геометрических характеристик каналов, м.



Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – корпус; 2 – патрубок для входа греющей среды; 3 – строительный фен; 4 – осевой вентилятор; 5 – подставка под вентилятор; 6 – блок LED-подсветки

На основании метода стационарных тепловых потоков (закон Ньютона-Рихмана) был определен коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности канала к термоэлектрическому преобразователю:

$$dQ' = \alpha_{F_{cm}} (t'_{\text{в.см}} - t') dF_{cm}, \quad (3)$$

где $t'_{\text{в.см}}$, t' – температуры теплоотдающей поверхности и воздушной среды соответственно, °C; F_{cm} – площадь теплоотдающей поверхности, м².

При условии, что величины, входящие в уравнение (3), относятся к небольшим элементам расчетной поверхности воздухоподогревателя, средний коэффициент теплоотдачи от поверхности канала к термоэлектрическим секциям определяются для каждого опыта исходя из зависимости [12]:

$$\bar{\alpha}' = \frac{\frac{1}{L} \int_0^L q(x) dx}{\frac{1}{L} \int_0^L (t'_{\text{в.см}} - t') dx} =$$

$$= \frac{Q'}{F_{cm} (\bar{t}'_{\text{в.см}} - \bar{t}')} , \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}; \quad (4)$$

где F_{cm} – поверхность теплообменной поверхности, м²; \bar{t}' – средняя температура потока в канале, определяемая из зависимости, °C:

$$\bar{t}' = \frac{t'_{\text{вх}} + t'_{\text{вых}}}{2}, \quad (5)$$

где $\bar{t}'_{\text{в.см}}$ – средняя температура потока, определяемая по формуле, °C:

$$\bar{t}'_{\text{в.см}} = \bar{t}_{cm} - \frac{Q'}{\lambda_{cm} \delta_{cm}}, \quad (6)$$

где δ_{cm} – толщина теплопередающей поверхности 2 мм; λ_{cm} – коэффициент теплопроводности материала теплопередающей поверхности нагрева, Вт/(м·°C); \bar{t}_{cm} – средняя температура стенки, определяемая по формуле, °C:

$$\bar{t}_{cm} = \frac{\bar{t}' + \bar{t}''}{2}, \quad (7)$$

где \bar{t}'' - средняя температура в канале, определяемая по следующей формуле аналогично (5), °C.

$$\bar{t}'' = \frac{t''_{ex} + t''_{vylx}}{2}, \quad (8)$$

где t''_{ex}, t''_{vylx} - температура воздуха на входе и выходе из канала воздухоподогревателя, для прохода греющей воздушной среды, °C.

Исходя из зависимости было определено среднее значение коэффициента [12] теплопередачи для каждого отдельного опыта:

$$\bar{k} = \frac{Q'}{F_{cm} \cdot \Delta \bar{t}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}, \quad (9)$$

где $\Delta \bar{t}$ - средний температурный напор (°C), определяемый при $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} \leq 1,7$, с достаточной точностью, как среднеарифметическая разность температур по формуле

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_m}{2}, \text{ °C}; \quad (10)$$

где $\Delta t_{\delta}, \Delta t_m$ - разности температур сред на другом конце поверхности нагрева, соответственно, °C.

$$\Delta t_{\delta} = t''_{ex} - t'_{vylx}, \quad (11)$$

$$\Delta t_m = t''_{vylx} - t'_{ex}, \quad (12)$$

Воспринятое от греющей среды в канале количество теплоты, определяется исходя из следующей формулы:

$$Q'' = \bar{\gamma}_v \cdot \bar{V}_{кан} \cdot (t''_{ex} - t''_{vylx}) \cdot 10^3, \text{ Вт}. \quad (13)$$

По зависимости (14) для каждого опыта определяется средний коэффициент теплоотдачи [12] от греющего потока в канале к поверхности термоэлектрической секции:

$$\bar{\alpha}'' = \frac{Q''}{F_{cm} \cdot (\bar{t}'' - \bar{t}_{s,cm}'')}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}, \quad (14)$$

где F_{cm} - расчетная поверхность теплоотдачи теплообменной поверхности (стенки), $F_{cm} = 0,049 \text{ м}^2$; \bar{t}'' - средняя температура нагреваемого воздушного потока в канале, °C; $\bar{t}_{s,cm}''$ - средняя температура поверхности, нагреваемой горячим воздушным потоком, определяется по формуле, °C:

$$\bar{t}_{s,cm}'' = \frac{Q''}{\frac{\lambda_{cm}}{\delta_{cm}}} + \bar{t}_{cm}, \text{ °C}, \quad (15)$$

где \bar{t}_{cm} - средняя температура стенки, °C.

Среднее значение коэффициента теплопередачи [12] для каждого опыта определялось из следующего соотношения:

$$\bar{k} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{\alpha}'} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\bar{\alpha}''}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}. \quad (16)$$

Результаты и их обсуждение

В таблице приведены результаты экспериментальных исследований с последующим определением основных характеристик термоэлектрического генератора.

Графически полученные экспериментальные данные представлены на рисунках 2-3.

Результаты экспериментальных исследований

Наименование измеряемой величины	Обозначение	Размерность	Номер серии опытов		
			1	2	3
Температура на входе в канал (холодный поток)	$t'_{вх}$	°C	25,4	25,4	25,4
Температура на выходе из канала (холодный поток)	$t'_{вых}$	°C	27,7	28,1	29,2
Температура на входе в канал (горячий поток)	$t''_{вх}$	°C	81,7	150,4	178,7
Температура на выходе из канала (горячий поток)	$t''_{вых}$	°C	42,8	55,1	63,8
Скорость воздуха (холодный поток)	$\bar{w}_{наг}$	м/с	5,1	5,1	5,1
Скорость воздуха (горячий поток)	$\bar{w}_{сп}$	м/с	1,1	1,1	1,1
Средняя температура	\bar{t}'	°C	26,6	26,8	27,3
Количество тепла, воспринятое поверхностью	Q'	Вт	552	660	990
Коэффициент теплоотдачи от стенки канала к холодному воздуху	$\bar{\alpha}'$	Вт/(м ² °C)	104,3	58,5	72,8
Напряжение	V	Вольт	1,14	2,02	2,26
Сила тока	I	А	0,356	0,631	0,728
Мощность	N	Вт	0,406	1,275	1,645

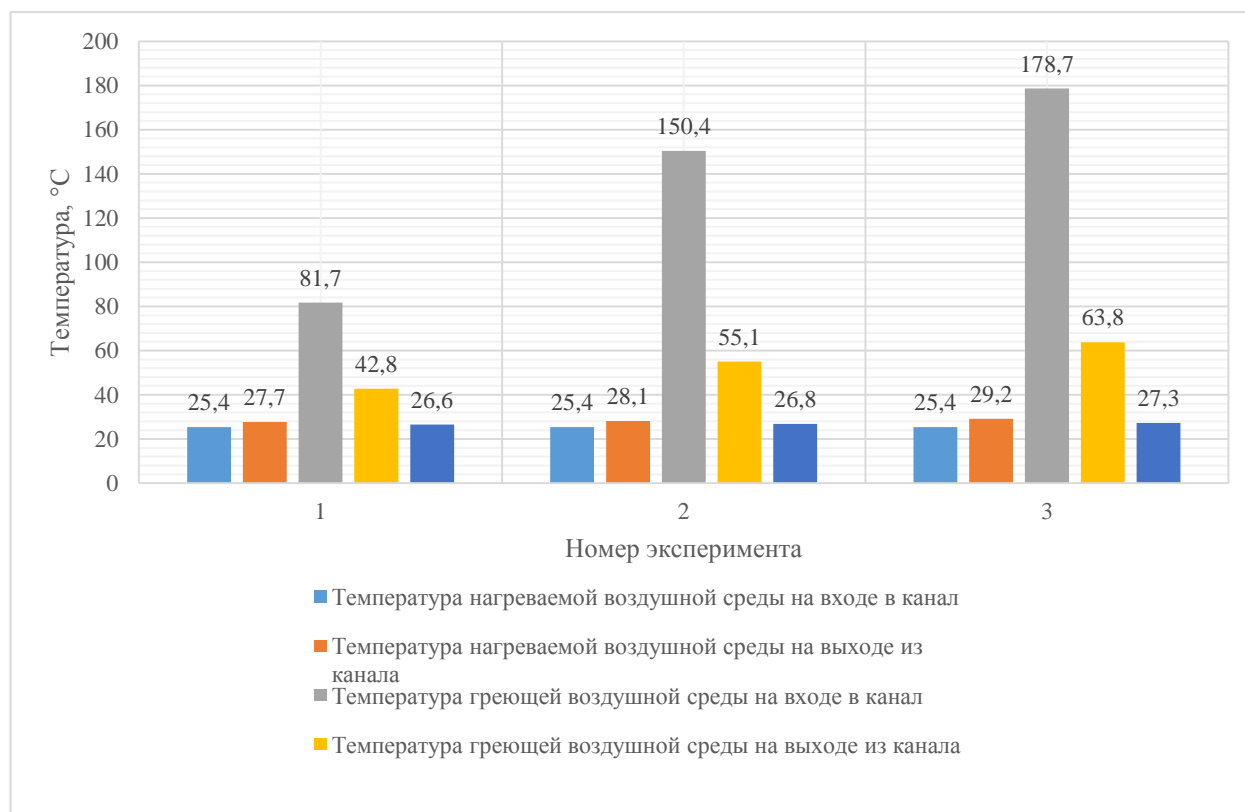


Рис. 2. Распределение температур в зависимости от номера эксперимента

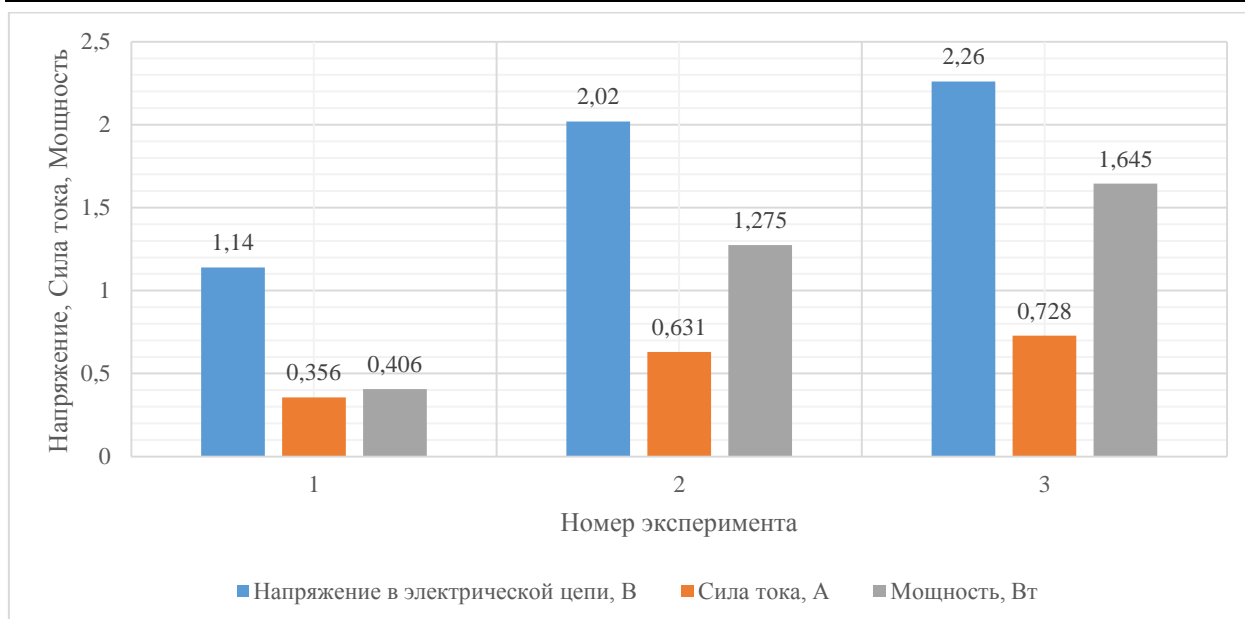


Рис. 3. Распределение показателей напряжения, силы тока, мощности в зависимости от номера эксперимента

Выводы

Основными выводами данной статьи являются:

- разработана экспериментальная конструкция воздухоподогревателя, имеющая в своем составе термоэлектрический источник ЭДС, работающий в результате попутного преобразования тепла в электричество, позволяет утилизировать низкопотенциальное тепло сбросных газов с 140°C до 60°C ;
- проведены экспериментальные исследования по определению основных параметров работы термоэлектрического генератора при перекрестном

теплообмене между сбросными газами и холодным воздухом на лабораторной установке по утилизации тепла уходящих сбросных газов с попутной генерацией термоэлектричества;

- в результате перекрестного теплообмена температура сбросных газов на выходе из комплексного воздухоподогревателя снижается на 40-60%, при этом фиксируется увеличение КПД котельного агрегата на 1-1,5% вследствие увеличения температуры приточного воздуха в горелочное устройство котла с 20°C до 55°C .

Список литературы

1. Разработка эффективного комплексного коррозионно-устойчивого воздухоподогревателя / В.С. Ежов, Н.Е. Семичева, А.П. Бурцев, М.Е. Попова, Д.Д. Фатеев // Сборник научных трудов 5-й Международной научной конференции «Юность и знания – гарантия успеха – 2018». Курск, 2018. С. 291-294.
2. Ежов В.С., Шик Д.А., Бурцев А.П. Комплексный воздухоподогреватель для нагрева воздуха и очистки дымовых газов // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник

научных статей 2-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск, 2018. С. 79-83.

3. Разработка мероприятий по повышению КПД теплогенерирующих установок на ТЭЦ СЗР г. Курска / В.С. Ежов, Н.Е. Семичева, А.П. Бурцев, А.А. Телегин // Молодежь и системная модернизация страны: сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции студентов и молодых ученых. Курск, 2018. С. 187-191.

4. Повышение эффективности системы очистки дымовых газов котельной на природном газе в г. Курске / В.С. Ежов, В.А. Жмакин, А.П. Бурцев, А.Г. Смирнов // Молодежь и системная модернизация страны: сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции студентов и молодых ученых. Курск, 2018. С. 196-200.

5. Котельная с коррозионностойким теплообменным оборудованием / В.С. Ежов, Н.Е. Семичева, А.П. Бурцев, И.С. Забелин // Будущее науки – 2018: сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск, 2018. С. 343-347.

6. Моделирование прямого преобразования тепла в электричество для энергоснабжения индивидуального теплового пункта / В.С. Ежов, С.В. Павлов, А.П. Бурцев, А.В. Брежнев, Р.С. Дроzhzhin // Научно-технический производственный журнал Наука 2.0 «БСТ-Бюллетень строительной техники». 2018. №3.

7. Энергосберегающее устройство на основе термоэлектричества / В.С. Ежов А.П. Бурцев, К.М. Голубничий, Д.А. Ермаков, М.С. Герасимов // Научно-технический производственный журнал Наука 2.0 «БСТ-Бюллетень строительной техники». 2018. №3.

8. Исследование процесса утилизации теплоты уходящих дымовых газов с попутным получением электрической энергии / В.С. Ежов, Н.Е. Семичева, А.С. Якушев, А.Ю. Журавлев // Биосфера–совместимые технологии в развитии регионов: сборник научных трудов Международной конференции. Курск. 2011. С. 20-24.

9. Ежов В.С., Семичева Н.Е., Бурцев А.П. Использование термоэлектричества в энергосберегающих теплотехнологиях: монография. Курск, 2017. 154 с.

10. V. S. Ezhov, N. E. Semicheva, S. V. Berezin, V. V. Makhova, A. Petrovich Burtsev, A. V. Brezhnev, R. S. Drozhzhin / independent power supply source for the station of cathodic protection of pipelines against corrosion // Journal of Applied engineering science. 2017. № 4. P. 501-505.

11. Yezhov V., Yemelianov S., Semicheva N., S Berezin., Burtsev A., Amelin V. Investigation of technical characteristics of thermoelectric add-on for preure jet burners // Journal of Applied engineering science. 2016. № 4. С. 461-464.

12. Гальперин Л.Г. Моделирование тепловых процессов. М., 2011. 112 с.

Поступила в редакцию 05.02.2019

Подписана в печать 04.03.2019

Reference

1. Ezhov V.S., Semicheva N.E., Burcev A.P., Popova M.E., Fateev D.D. Razrabotka jeffektivnogo kompleksnogo korrozionno-ustojchivogo vozduhopodogrevatelja. Sbornik nauchnyh trudov 5-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "JUnost' i znaniya – garantija uspeha – 2018". Kursk, 2018, pp. 291-294 (In Russ.).
2. Ezhov V.S., SHik D.A., Burcev A.P. Kompleksnyj vozduhopodogrevatel' dlja nagreva vozduha i ochistki dymovyh gazov. Sbornik nauchnyh statej 2-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh "Molodezh' i nauka: shag k uspehu". Kursk, 2018, pp. 79-83 (In Russ.).
3. Ezhov V.S., Semicheva N.E., Burcev A.P., Telegin A.A. Razrabotka meroprijatij po povysheniju KPD teplogenerirujushhih ustanovok na TJEC SZR g. Kurska. Sbornik nauchnyh statej 3-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii studentov i molodyh uchenyh "Molodezh' i sistemnaja modernizacija strany". Kursk, 2018, pp. 187-191 (In Russ.).
4. Ezhov V.S., ZHmakin V.A., Burcev A.P., Smirnov A.G. Povysenie jeffektivnosti sistemy ochistki dymovyh gazov kotel'noj na prirodnom gaze v g. Kurske. Sbornik nauchnyh statej 3-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii studentov i molodyh uchenyh "Molodezh' i sistemnaja modernizacija strany". Kursk, 2018, pp. 196-200 (In Russ.).
5. Ezhov V.S., Semicheva N.E., Burcev A.P., Zabelin I.S. Kotel'naja s korrozionnos-tojkim teploobmennym oborudovaniem. Sbornik nauchnyh statej 8-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh "Budushhee nauki – 2018". Kursk, 2018, pp. 343-347 (In Russ.).
6. Ezhov V.S., Pavlov S.V., Burcev A.P., Brezhnev A.V., Drozhzhin R.S. Modelirovanie prjamoego preobrazovaniya tepla v jelektrichestvo dlja jenergo-snabzhenija individual'nogo teplovogo punkta. *Nauchno-tehnicheskij proizvodstvennyj zhurnal. Nauka 2.0 "BST-Bjulleten' stroitel'noj tehniki"*, 2018, no.3 (In Russ.).
7. Ezhov V.S., Burcev A.P., Golubnichij K.M., Ermakov D.A., Gerasimov M.S. JEnergosberegajushhee ustrojstvo na osnove termoelektrichestva. *Nauchno-tehnicheskij proizvodstvennyj zhurnal Nauka 2.0 "BST-Bjulleten' stroitel'noj tehniki"*, 2018. no.3 (In Russ.).
8. Ezhov V.S., Semicheva N.E., JAKushev A.S., ZHurvlev A.JU. Issledovanie processa utilizacii teploty uhodjashhih dymovyh gazov s poputnym polucheniem jelektricheskoy jenerгии. Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj konferencii. Biosfero–sovmestimye tehnologii v razvitii regionov. Kursk, 2011, pp. 20-24 (In Russ.).
9. Ezhov V.S., Semicheva N.E., Burcev A.P. Ispol'zovanie termoelektrichestva v jenergosberegajushhih teplotehnologijah. Kursk, 2017, 154 p. (In Russ.).
10. Ezhov V. S., Semicheva N. E., Berezin S. V., Makhova V. V., Burtsev A. P., Brezhnev A. V., Drozhzhin R. S. Independent power supply source for the station of cathodic pro-

tection of pipelines against corrosion. *Journal of Applied engineering science*, 2017, no. 4, pp. 501-505.

11. Yezhov V., Yemeljanov S., Semicheva N. Berezin, S., Burtsev A., Amelin V. Investigation of technical characteristics of thermoelectric add-on for preure jet burners. *Journal of Applied engineering science*, 2016, no. 4, pp. 461-464.

12. Gal'perin L.G. Modelirovanie teplovyh processov. Moscow, 2011, 112 p. (In Russ.)

Received 05.02.2019

Accepted 04.03.2019

Информация об авторах / Information about the Authors

Ежов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоводоснабжения, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vl-ezhov@yandex.ru

Vladimir S. Ezhov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Heating, Gas and Water Supply Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: vl-ezhov@yandex.ru

Семичева Наталья Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, завкафедрой теплогазоводоснабжения, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация e-mail: nsemicheva@yandex.ru

Natalia E. Semicheva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Heating, Gas and Water Supply Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: nsemicheva@yandex.ru

Бурцев Алексей Петрович, аспирант кафедры теплогазоводоснабжения, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ap_burtsev@mail.ru

Aleksey P. Burtsev, Post-Graduate Student, Heating, Gas and Water Supply Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: ap_burtsev@mail.ru

Зенченков Владимир Игоревич, аспирант кафедры теплогазоводоснабжения, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru

Vladimir I. Zenchenkov, Post-Graduate Student, Heating, Gas and Water Supply Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: tgv-kstu6@yandex.ru

Ермаков Дмитрий Андреевич, студент кафедры электроснабжения, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: DmitriyErmakov98@yandex.ru

Dmitrii A. Ermakov, Student Electric Power Supply Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: DmitriyErmakov98@yandex.ru