

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ АВТОНОМНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Губарев А.В.

БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аннотация

Представлена проблема топливно-энергетических ресурсов как одна из важнейших глобальных проблем. В качестве важного аспекта снижения потребления топливно-энергетических ресурсов указано энергосбережение в системах теплоснабжения потребителей. Отмечен существенный потенциал энергосбережения в системах теплоснабжения, обусловленный значительными потерями тепла с уходящими от котельных установок газами. Обозначен ряд проблем, связанных с утилизацией низкопотенциальной теплоты уходящих газов. Проведены обзор и анализ способов утилизации теплоты уходящих газов котельных и направлений полезного использования этой теплоты, указаны их достоинства и недостатки. Рекомендовано направление проведения изысканий методов утилизации низкопотенциальной теплоты уходящих газов, а также способов ее использования, позволяющих создать высокоэффективные малоотходные комплексы и системы.

Ключевые слова: тепловые источники систем теплоснабжения; низкопотенциальная теплота; анализ способов энергосбережения.

PROBLEMS OF WASTE GAS HEAT UTILIZATION IN AUTONOMOUS BOILER HOUSES

Artem Gubarev

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

Abstract

The problem of fuel and energy resources is presented as one of the most important global problems. Energy saving in consumer heat supply systems is indicated as an important aspect of reducing the consumption of fuel and energy resources. There is a significant potential for energy saving in heat supply systems, which is conditioned by considerable heat losses with exhaust gases from boilers. A problems related to the utilization of low-potential heat of exhaust gases are identified. A review and analysis of ways to utilize the heat of the exhaust gases of boiler houses and directions of useful use of this heat are performed, their advantages and disadvantages are indicated. The direction of conducting research on methods of utilization of low-potential heat of exhaust gases and ways of using of this heat, allowing to create high-effective low-waste complexes and systems, is recommended.

Keywords: thermal sources of heat supply systems; low-potential heat; analysis of energy saving methods.

Введение

Одной из важнейших и серьезнейших проблем, стоящих в настоящее время перед человечеством, является проблема топливно-энергетических ресурсов [1]. Причем, указанная проблема как сама по себе является комплексной, т.е. включает ряд других проблем, таких как исчерпаемость традиционных топливно-энергетических ресурсов [2], нестабильность выхода, низкий потенциал и высокая стоимость нетрадиционных источников энергии [3-6], поиск новых источников и способов получения энергии, так и является частью других глобальных проблем, таких, например, как отторжение тер-



риторий, которые могли бы использоваться для целей, не связанных с добычей топливных ресурсов и генерацией энергии, негативное антропогенное влияние на окружающую среду, изменение климата [7-9].

В свете вышесказанного весьма актуальным вопросом является повышение эффективности получения, в частности, тепловой энергии, а также наиболее полное использование энергетических ресурсов в процессе выработки этой энергии. Значительная доля вырабатываемой тепловой энергии направляется на покрытие нужд теплоснабжения коммунальных потребителей. При этом системы теплоснабжения, в зависимости от размещения теплового источника по отношению к потребителям, являются централизованными, когда источник теплоснабжения располагается на большом расстоянии от потребителей, или децентрализованными (автономными), когда источник теплоснабжения располагается в непосредственной близости от потребителя. В Советском Союзе, а затем и в Российской Федерации доминирующими системами теплоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства являлись централизованные, однако в последние десятилетия отмечается увеличение доли децентрализованных систем теплоснабжения [10, 11]. Это обусловлено рядом преимуществ автономных систем. В качестве наиболее важных из этих преимуществ можно выделить отсутствие протяженных тепловых сетей и потерь в них тепловой энергии и теплоносителя, а также удобство регулирования отпуска теплоты [12].

В качестве теплогенераторов в тепловых источниках децентрализованных систем теплоснабжения используются водогрейные котлы малой тепловой производительности. Величина теплового КПД большинства котлов, устанавливаемых в тепловых источниках децентрализованных систем теплоснабжения в нашей стране, находится в пределах 90...94 %. Значения температуры уходящих газов от указанных котлов чаще всего находится в диапазоне от 150 до 170 °С, что обуславливает существенный потенциал энергосбережения в данных системах.

Целью работы ставится выявление перспектив энергосбережения в котельных децентрализованных систем теплоснабжения. Для достижения цели формулируются следующие задачи:

- обзор и анализ направлений использования низкопотенциальной теплоты, получаемой при утилизации тепловой энергии уходящих газов котельных;
- обзор и анализ способов утилизации теплоты уходящих газов котельных.

Материалы и методы

Изначально экономия энергии в тепловом источнике может быть обусловлена применением малозатратных методов, т.е. достигнута за счет реализации технологических и эксплуатационных мероприятий. К таким мероприятиям можно отнести, например, содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева теплогенерирующих и теплообменных установок, поддержание оптимального значения коэффициента избытка воздуха, контроль выполнения параметров процесса, указанных в режимных картах эксплуатации оборудования [13]. При этом очевидно, что перечисленные мероприятия не обеспечивают глубокой утилизации теплоты, содержащейся в уходящих газах котельных установок.

Для глубокой утилизации теплоты уходящих газов требуется применение специальных систем и аппаратов. Важным вопросом является характер использования указанной энергии. В связи с тем, что потенциал ее невелик, область применения теплоты уходящих газов котельных установок весьма узка. В качестве основных направлений использования низкопотенциальной энергии уходящих газов котлов обычно указывают подогрев обратной сетевой воды, подогрев исходной воды для подпитки системы теплоснабжения, подогрев воздуха, направляемого на горение [14].



Поскольку коэффициенты теплоотдачи с газовой стороны в теплообменном оборудовании имеют весьма низкие значения, а разность потенциалов уходящих газов и атмосферного воздуха невелика, то теплоутилизатор, в случае использования теплоты уходящих газов для подогрева воздуха, направляемого в топку котла на горение, должен обладать очень развитой теплообменной поверхностью. Это обстоятельство обусловливает высокие материалоемкость, габариты, массу, а, следовательно, и стоимость теплоутилизационной установки, необходимой к применению в такой системе.

Использование в качестве охлаждающего теплоносителя обратной сетевой воды ограничивается значениями ее температуры. Так, для продуктов сгорания природного газа, в зависимости от их состава, температура точки росы составляет 50...57 °С. Температура же обратной сетевой воды на максимально-зимнем режиме достигает 70 °С. В большинстве регионов Российской Федерации значения температуры обратной сетевой воды ниже 50 °С не представляются достижимыми в периоды года, когда сезонная нагрузка имеет максимальные и близкие к максимальным значения [15]. Таким образом, при подогреве обратной сетевой воды часто невозможно обеспечить глубокую утилизацию теплоты уходящих газов котла с полезным использованием теплоты конденсации водяного пара, входящего в их состав. При этом уходящие газы, охладившись в теплоутилизаторе до температуры, превышающей точку росы, могут впоследствии охладиться до более низких температур в находящихся на открытом воздухе дымоходах и дымовой трубе. Это обстоятельство делает необходимым применение для изготовления указанных элементов газового тракта котельной установки антикоррозионных материалов или покрытий, что существенно удорожает установку.

Имеются предложения использования с целью обеспечения глубокой утилизации теплоты уходящих газов и подогрева за счет этой теплоты обратной сетевой воды термотрансформаторов [15] и, в частности, тепловых насосов [16]. Необходимо отметить, что при достижении поставленных целей в этом случае усложняется схема теплового источника, существенно возрастают капитальные и эксплуатационные затраты.

В нашей стране наибольшее распространение для покрытия нужд теплоснабжения получили закрытые системы. В таких системах сетевая вода циркулирует по замкнутому циклу и непосредственно потребителями не расходуется. При этом подпитка системы необходима только для восполнения потерь сетевой воды при наличии неплотности системы, а также для компенсации использования воды на собственные нужды котельной и имеет незначительный расход. В таких условиях потенциал использования в качестве охлаждающего теплоносителя исходной воды для подпитки системы теплоснабжения весьма невелик [14].

Существуют проекты, связанные с использованием низкопотенциальной теплоты уходящих газов котельных установок для генерации электрической энергии. Например, предлагается производить выработку электроэнергии, в том числе, для собственных нужд котельной, при использовании установок, работающих по органическому циклу Ренкина [17]. Однако в этом случае значительно усложняется схема котельной, ее эксплуатация и обслуживание, используются недешевые рабочие тела, т.е. существенно увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты.

Перспективным видится использование в качестве теплогенераторов в автономных котельных двухконтурных котлов, в которых один контур используется для подготовки теплоносителя для системы отопления потребителей, а второй – для нагрева воды на нужды горячего водоснабжения. В таком случае во второй контур может подаваться водопроводная вода с температурой 5...15 °С. Таким образом, во втором контуре может обеспечиваться глубокая утилизация теплоты продуктов сгорания с использованием теплоты конденсации значительной доли (до 70...80 %) содержащихся в их составе водяных паров [18]. В качестве вероятных проблем, возникающих при использо-



вании такого способа утилизации теплоты, можно обозначить нестабильность графика потребления вырабатываемого продукта (горячей воды), а также удорожание оборудования газового тракта из-за необходимости использования антикоррозионных материалов или покрытий.

В качестве теплоутилизаторов в рассмотренных схемах принципиально могут использоваться две категории аппаратов: поверхностные и контактные. Главным преимуществом поверхностных теплоутилизаторов является отсутствие непосредственного контакта нагреваемого теплоносителя с продуктами сгорания, что существенно расширяет область применения такого теплоносителя [19]. Однако теплопередающая поверхность в таких теплообменниках должна иметь значительную площадь. Это чаще всего достигается за счет применения оребрения и прочих интенсификаторов теплообмена. Необходимо отметить, что конструкция теплоутилизатора, а также его обслуживание и ремонт в таком случае существенно усложняются, а масса, металлоемкость и, как следствие, стоимость повышаются.

В отличие от поверхностных теплоутилизаторов, металлоемкость и габариты контактных теплообменников значительно меньше. Теплообмен в таких аппаратах происходит при непосредственном контакте продуктов сгорания и нагреваемой среды. Таким образом, могут быть достигнуты наивыгоднейшие значения температур теплоносителей [20]. Однако нагреваемый теплоноситель при непосредственном контакте с продуктами сгорания загрязняется содержащимися в газах компонентами, а это сужает область его возможного применения.

Вариантом решения указанной проблемы (хотя и с некоторым снижением эффективности протекания тепломассообменных процессов) является использование контактно-поверхностных теплообменников. В таких аппаратах теплота от продуктов сгорания отбирается при непосредственном контакте промежуточным жидким теплоносителем, циркулирующим в замкнутом контуре теплообменной установки, а уже от промежуточного теплоносителя тепловая энергия передается чистому теплоносителю, направляемому потребителю, через разделяющую поверхность. Такие теплоутилизаторы могут быть объединены в один корпус с котлом, что повышает компактность теплогенерирующей установки [21].

При использовании любых конденсационных аппаратов актуальной является проблема необходимости использования антикоррозионных покрытий и материалов при изготовлении дымоходов от теплоутилизатора до дымовой трубы, установленного на них оборудования и самой дымовой трубы.

Результаты и обсуждение

В качестве концептуального решения обозначенных проблем, связанных с полезным использованием низкопотенциальной теплоты уходящих газов теплогенерирующих установок, возможно её использование для подготовки энергоносителя, направляемого впоследствии в систему энергоснабжения, а непосредственно в тепловом источнике или в прилегающих к нему объектах. При этом необходимо стараться находить такие технологические и аппаратурные решения, которые позволили бы минимизировать площадь теплообменных поверхностей или снизить стоимость применяемых для их изготовления материалов.

В качестве примера такого направления изысканий можно представить тепловой источник, в котором теплота уходящих газов используется для подогрева в пластинчатом теплообменнике, выполненном из оцинкованного железа, воздуха, забираемого с улицы и направляемого в помещение котельной [22]. Такая система представляется весьма перспективной для автономных котельных при покрытии сезонной нагрузки, когда температура окружающего воздуха имеет низкие значения.



Интересным решением представляется теплоутилизационная система, в которой подогрев воздуха, направляемого в приточную систему вентиляции, осуществляется непосредственно в дымовой трубе, состоящей из двух коаксиально установленных труб. При этом по центральной трубе движутся продукты сгорания, а в кольцевом зазоре между трубами – воздух. Для интенсификации процесса теплообмена центральная труба может выполняться со спиральным оребрением [23].

Актуальным вопросом при решении проблемы утилизации теплоты уходящих газов котельных представляется и снижение отрицательного влияния теплового источника на окружающую среду. Так, весьма перспективными системами представляются такие, в которых, помимо глубокого охлаждения продуктов сгорания органического топлива, реализуется и их очистка, например, в абсорберах, а также последующее выделение углекислого газа и преобразование его в полезные газы (кислород, метан) или направление для подкисления почвы в теплицах [24, 25].

Такие решения при дальнейшей их проработке позволят создать высокоэффективные и малоотходные децентрализованные системы теплоснабжения.

Выводы

В качестве основных проблем, возникающих при разработке мероприятий по утилизации теплоты уходящих газов автономных котельных, можно выделить следующие:

- низкий потенциал утилизируемой теплоты и низкий коэффициент теплоотдачи от охлаждаемого теплоносителя;
- узкая область использования теплоты, получаемой в контактных теплоутилизаторах;
- необходимость в ряде случаев использования промежуточных теплоносителей или рабочих тел (последние могут быть дорогостоящими и небезопасными для окружающей среды);
- необходимость в весьма развитой поверхности теплообмена в поверхностных теплоутилизаторах;
- продукты сгорания после глубокого охлаждения являются весьма коррозионно-агрессивной средой.

В процессе поиска оптимального решения перечисленных проблем перспективным видится использование низкопотенциальной теплоты уходящих газов для непосредственного обогрева объектов без использования дополнительных теплообменников с развитой или сложной по конструкции поверхностью и промежуточных теплоносителей. Важной при разработке и проектировании таких систем является необходимость находить решение проблем безопасности окружающей среды, в том числе, живых организмов и растений, а также коррозионного износа теплообменных поверхностей при обеспечении рентабельности систем теплоснабжения и утилизации теплоты.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030».

Библиографический список

1. Gubarev A.V., Lozovoj N.M. Construction and variants of the modernization of the condensing hot water boiler // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 552. – P. 012004. DOI: [10.1088/1757-899X/552/1/012004](https://doi.org/10.1088/1757-899X/552/1/012004). EDN: [IUQAYO](https://www.edn.org/IUQAYO).
2. Integration of direct carbon and hydrogen fuel cells for highly efficient power generation from hydrocarbon fuels / N. Muradov, P. Choi, F. Smith, G. Bokerman // Journal of Power Sources. – 2010. – Vol. 195. – P. 1112-1121. DOI: [10.1016/j.jpowsour.2009.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.09.010). EDN: [NWUBJI](https://www.edn.org/NWUBJI).
3. Salameh M.G. Can renewable and unconventional energy sources bridge the global energy gap in 21st century? // Applied Energy. – 2003. – Vol. 75. – P. 33-42. DOI: [10.1016/S0306-2619\(03\)00016-3](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00016-3).



4. Zerrahn A., Schill W.-P., Kemfert C. On the economics of electrical storage for variable renewable energy sources // *European Economic Review*. – 2018. – Vol. 108. – P. 259-279. DOI: [10.1016/j.euroecorev.2018.07.004](https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2018.07.004)
5. Леонов Е.С., Трубаев П.А. Исследование влияние состава биогаза на свойства факела // *Энергетические системы*. – 2020. – № 1. – С. 183-189. EDN: [WMFFAP](#).
6. Леонов Е.С., Трубаев П.А. Исследование влияния состава биогаза на характеристики его сжигания в котлах // *Промышленная энергетика*. – 2024. – № 1. – С. 36-45. DOI: [10.34831/EP.2024.63.86.005](https://doi.org/10.34831/EP.2024.63.86.005). EDN: [OXUXUY](#).
7. Abdel-Shafy H., Mansour M.S.M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation // *Egyptian Journal Of Petroleum*. – 2016. – Vol. 25. – P. 107-123. DOI: [10.1016/j.ejpe.2015.03.011](https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011). EDN: [YEIDKI](#).
8. Nordell B. Thermal pollution causes global warning // *Global and Planetary Change*. – 2003. – Vol. 38. – P. 305-312. DOI: [10.1016/S0921-8181\(03\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(03)00113-9). EDN: [ERTBPV](#).
9. Developing a greenhouse gas management evaluation system for Chinese textile enterprises / L. Zhu, L. Chen, X. Wu, X. Ding // *Ecological Indicators*. – 2018. – Vol. 91. – P. 470-477. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.04.029](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.029).
10. Перспективы развития рынка конденсационных котлов в России / Г.П. Гриненко, В.П. Кожевников, М.И. Кулешов, А.А. Погонин // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2012. – № 3. – С. 145-149. EDN: [PATCCL](#).
11. Трубаев П.А., Погонин А.А., Тарасюк П.Н. Техничко-экономическая оценка модернизации районных муниципальных котельных Белгородской области // *Промышленная энергетика*. – 2012. – № 2. – С. 12-17. EDN: [PGPWTH](#).
12. Испытательный стенд и основные результаты экспериментальных исследований топливосберегающего газового водонагревателя / М.И. Кулешов, В.П. Кожевников, А.В. Губарев, А.А. Погонин // *Энергосбережение и водоподготовка*. – 2012. – № 3 (77). – С. 57-60. EDN: [OZKTXD](#).
13. Ежов В.С., Семичева Н.Е., Переверзев Е.А. Повышение энергоэффективности и надежности системы очистки и утилизации дымовых газов в автономных котельных // *Проектирование и строительство: Сб. научных тр. 4-й Межд. научно-практ. конф. мол. уч., асп., магистров и бакалавров (13 марта 2020 года)*. – Курск: ЮЗГУ, 2020. С. 122-127. EDN: [ITJZCH](#).
14. Ведрученко В.Р., Лазарев Е.С. О потенциале использования тепла конденсации в поверхностных конденсационных теплоутилизаторах для отопительных котельных // *Актуальные вопросы энергетики*. – 2021. – Том 3, № 1. – С. 26-30. DOI: [10.25206/2686-6935-2021-3-1-26-30](https://doi.org/10.25206/2686-6935-2021-3-1-26-30). EDN: [REXQPU](#).
15. Степанов К.И., Мухин Д.Г. Анализ эффективности абсорбционного бромистолитиевого термотрансформатора с двухступенчатой абсорбцией в составе газифицированных энергетических установок // *Теплоэнергетика*. – 2021. – № 1. – С. 43-51. DOI: [10.1134/S0040363620120097](https://doi.org/10.1134/S0040363620120097). EDN: [XOQWPS](#).
16. Попова Е.С., Шемпелев А.Г. Разработка и исследование способа повышения КПД котельных агрегатов за счет глубокой утилизации теплоты уходящих газов с использованием теплового насоса // *Advanced science*. – 2017. – № 1 (5). – С. 33. EDN: [ZCQMIV](#).
17. Утилизация и преобразование невостребованной тепловой энергии в теплоснабжающих системах от районных котельных / И.Н. Соломин, А.З. Даминов, Р.Ф. Камалов, Р.А. Садыков // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2013. – № 4 (26). – С. 185. EDN: [RSTDZR](#).
18. Independent heating modules with condensing hot water boilers as heat generators as an effective alternative to centralized heat supply / V.P. Kozhevnikov, V.A. Kuznetsov, A.A. Mochalin et al. // *Advances in environmental biology*. – 2014. – Vol. 8 (13). – P. 89-93. EDN: [UEYNRL](#).
19. Малыгин М.И., Сафонова Е.К. Снижение тепловых потерь в котлах малой мощности путем утилизации тепла дымовых газов. // *Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие: Матлы научно-практ. конф.* – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 67-70. EDN: [CJAUDG](#).
20. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. – Л.: Недра, 1990. – 280 с.



21. Горшколепов Г.М., Кулешов М.И., Беляева В.И. Решение проблемы энергосбережения и повышения безопасности в коммунальной сфере // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 7. – С. 33-35. EDN: [JVXMSV](#).
22. Беспалов В.В., Беспалов В.И. Технология осушения дымовых газов ТЭС с использованием теплоты конденсации водяных паров // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316, № 4. – С. 56-59. EDN: [MLTTCB](#).
23. Сериков С.В., Ильина, Т.Н. Утилизация тепла уходящих газов котельной установки в системе воздушного отопления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 4. – С. 53-55. EDN: [QCEJRB](#).
24. Ежов В.С. Утилизация диоксида углерода дымовых газов с получением метана // Экология и промышленность России. – 2011. – № 8. – С. 12-13. EDN: [NYCPWX](#).
25. Ежов В.С., Семичева Н.Е., Переверзев Е.А. Системы очистки и утилизации дымовых газов в автономных котельных // Молодежь и XXI век - 2020: Мат-лы X Межд. молодеж. научной конф. (19-20 февраля 2020 года). – Курск: ЮЗГУ, 2020. – С. 249-254. EDN: [PUXSYQ](#).

References

1. Gubarev, A., & Lozovoj, N. (2019). Construction and variants of the modernization of the condensing hot water boiler. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 552, 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/552/1/012004>.
2. Muradov, N., Choi, P., Smith, F., & Bokerman, G. (2010). Integration of direct carbon and hydrogen fuel cells for highly efficient power generation from hydrocarbon fuels. *J. Power Sources*, 195, 1112-1121. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.09.010>.
3. Salameh, M. (2003). Can renewable and unconventional energy sources bridge the global energy gap in 21st century?. *Applied Energy*, 75, 33-42. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00016-3](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00016-3).
4. Zerrahn, A., Schill, W.-P., & Kemfert, C. (2018). On the economics of electrical storage for variable renewable energy sources. *European Economic Review*, 108, 259-79. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2018.07.004>.
5. Leonov, E. & Trubaev, P. (2020). Analysis of biogas composition influence on the flame characteristic. *Energy Systems*, 1, 183-189. [In Russian]
6. Leonov, E. & Trubaev, P. (2024). Study of the impact of the biogas composition on the characteristics of its combustion in boilers. *Industrial Power Engineering*, 1, 36-45. <https://doi.org/10.34831/EP.2024.63.86.005>. [In Russian]
7. Abdel-Shafy, H. & Mansour, M. S. M. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian J. Of Petroleum*, 25, 107-123. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>.
8. Nordell, B. (2003). Thermal pollution causes global warning. *Global and Planetary Change*, 38, 305-12. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(03\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(03)00113-9).
9. Zhu, L., Chen, L., Wu, X. & Ding, X. (2018). Developing a greenhouse gas management evaluation system for Chinese textile enterprises. *Ecological Indicators*, 91, 470-77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.029>.
10. Grinenko, G., Kozhevnikov, V., Kuleshov, M. & Pogonin, A. (2012). Perspektivy` razvitiya ry`nka kondensacionny`x kotlov v Rossii [Prospects of the market development of condensation boilers in Russia]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*, 3, 145-149. [In Russian]
11. Trubaev, P. Pogonin, A. & Tarasyuk, P. (2012). Tekhniko-e`konomicheskaya ocenka modernizacii rajonny`x municipal`ny`x kotel`ny`x Belgorodskoj oblasti [Technical and economic assessment of modernization of district municipal boiler houses of the Belgorod region]. *Promy`shlennaya e`nergetika*, 2, 12-17.
12. Kuleshov, M., Kozhevnikov, V., Gubarev, A. & Pogonin, A. (2012). Ispy`tatel`ny`j stend i osnovny`e rezul`taty` e`ksperimental`ny`x issledovanij toplivo-sberegayushhego gazovogo vodonagrevatelya [A test bench and the main results of experimental studies of a fuel-saving gas water heater]. *E`nergosberezhenie i vodopodgotovka*, 3 (77), 57-60. [In Russian]



13. Yezhov, V., Semicheva N., & Pereverzev, E. (2020). Povyshenie energoefektivnosti i nadezhnosti sistemy ochistki i utilizatsii dymovykh gazov v avtonomnykh kotelnykh [Improving the energy efficiency and reliability of the flue gas cleaning and disposal system in autonomous boiler houses]. In *Proc. Design and construction* (pp. 122-127). YuZGU. [In Russian]
14. Vedruchenko, V. & Lazarev, E. (2021). About the potential of condensation heat usage in mean of surface condensation heat exchangers for heating boiler plants. *Aktualnye voprosy energetiki*, 1, 26-30. [In Russian]
15. Stepanov, K. & Mukhin, D. (2021). Efficiency of a lithium bromide absorption thermotransformer with two-stage absorption in the structure of gasified power plants. *Thermal Engineering*, 1 (68), 37-44. <https://doi.org/10.1134/S0040363620120097>.
16. Popova, E. & Shempelev, A. (2017). Razrabotka i issledovanie sposoba povysheniya KPD kotelnykh agregatov za schet glubokoy utilizatsii teploty uxodyashhix gazov s ispolzovaniem teplovogo nasosa [Development and research of a method to increase the efficiency of boiler units due to deep utilization of the heat of exhaust gases using a heat pump]. *Advanced Science*, 1 (5), 33. [In Russian]
17. Solomin, I., Daminov, A., Kamalov, R. & Sadykov, R. (2013). Utilization and conversion of unclaimed thermal energy in heat supply systems of district boiler. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 4 (26), 185. [In Russian]
18. Kozhevnikov, V., Kuznetsov, V., Mochalin, A., Titarenko, R. & Sokolova, L. (2014). Independent heating modules with condensing hot water boilers as heat generators as an effective alternative to centralized heat supply. *Adv. Environ. Biol.*, 8 (13), 89-93.
19. Maljigyn, M. & Safonova, E. (2017). Snizhenie teplovykh poter v kotlax maloj moshhnosti putem utilizatsii tepla dymovykh gazov [Reducing heat losses in low-power boilers by utilizing flue gas heat]. In *Proc. Resursosberezhenie. Effektivnost. Razvitie* (pp. 67-70). DonNTU. [In Russian]
20. Aronov, I. (1990). Kontaknyj nagrev vody produktami sgoraniya prirodnogo gaza [Contact heating of water by natural gas combustion products]. Nedra. [In Russian]
21. Gorshkolepov, G., Kuleshov, M. Belyaeva V. (2002). Reshenie problemy energosberezheniya i povysheniya bezopasnosti v kommunal'noj sfere [Solving the problem of energy saving and improving safety in the public sector]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 7, 33-35. [In Russian]
22. Bespalov, V. & Bespalov, V. (2010). Tekhnologiya osusheniya dymovykh gazov TЭС s ispolzovaniem teploty kondensatsii vodyanykh parov [Technology of flue gas dehumidification of thermal power plants using the heat of condensation of water vapor]. *Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta*, 4 (316), 56-59. [In Russian]
23. Serikov, S. & Il'ina, T. (2013). Utilizatsiya tepla uxodyashhix gazov kotel'noj ustanovki v sisteme vozdušnogo otopleniya [Utilization of the heat of the exhaust gases of the boiler plant in the air heating system]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*, 4, 53-15. [In Russian]
24. Yezhov, V. (2011). Recycling of smoke gases' carbon dioxide to produce methane. *Ecology and Industry of Russia*, 8, 12-13. [In Russian]
25. Yezhov, V., Semicheva & N., Pereverzev, E. (2020). Sistemy ochistki i utilizatsii dymovykh gazov v avtonomnykh kotelnykh [Flue gas cleaning and disposal system in autonomous boiler houses]. In *Proc. Molodezh' i XXI vek – 2020* (pp. 249-254). YuZGU. [In Russian]

Сведения об авторе

Губарев Артем Викторович, доцент кафедры Энергетики теплотехнологии БГТУ им. В.Г. Шухова (закончил БГТУ им. В.Г. Шухова по специальности «Энергетика теплотехнологии» в 2001 г.). E-mail: artwo0248@mail.ru. SPIN: [1679-0212](https://orcid.org/1679-0212).

Author about

Artem Gubarev, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
E-mail: artwo0248@mail.ru.

