

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ СЖИГАНИЯ МАЗУТА В КОТЕЛЬНЫХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НОВЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В. Д. Катин, М. Х. Ахтямов, А. А. Журавлев

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»; ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия

Ключевые слова: воздухоподогреватели; водяные экономайзеры; выбросы оксидов азота и сажи; контактные теплообменники; котельные установки; предприятия железнодорожного транспорта; сжигание жидкого топлива; утилизаторы тепловых ресурсов дымовых газов.

Аннотация: Дан анализ применяемых в котельных предприятий железнодорожного транспорта методов для утилизации теплоты уходящих продуктов сгорания, выбрасываемых из паровых и водогрейных котлов при сжигании жидкого топлива. Рекомендованы принципиально новые устройства для снижения выбросов вредных веществ, подтвержденные патентами на полезные модели. Разработаны рекомендации по выбору рациональных энергосберегающих устройств для котлов, созданных для экологичного сжигания мазута в целях снижения вредных выбросов, экономии топлива и повышения КПД котельных за счет снижения потерь теплоты с уходящими дымовыми газами.

Введение

Наша страна обладает большими запасами минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), и в связи с этим приобретает особую актуальность решение проблемы ресурсо- и энергосбережения. Повышение эффективности использования ТЭР считается актуальной задачей государственной важности в современных условиях. Поэтому стратегическая задача, поставленная Президентом РФ перед обществом, заключается в выявлении приоритетных путей более эффективного исполь-

Катин Виктор Дмитриевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», профессор высшей школы управления природными ресурсами, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия; Ахтямов Мидхат Хайдарович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»; Журавлев Александр Александрович – аспирант кафедры «Техносферная безопасность», e-mail: gorosog@yandex.ru, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия.

зования ТЭР при сопутствующем снижении энергетических и других затрат.

Отметим, что основными потребителями топливных ресурсов на железнодорожном транспорте являются котельные установки, работающие на угле, газе и мазуте. Действующие федеральные законы [1, 2] нацеливают на повышение энергетической и экологической эффективности работы топливосжигающих устройств на предприятиях. В то же время техническое состояние котельного парка до сих пор еще не отвечает предъявляемым современным экологическим требованиям к оборудованию и технологическим процессам на железнодорожном транспорте.

По мнению авторов, в железнодорожной отрасли для котельных назревает необходимость модернизации и создания принципиально новых конструкций энергосберегающих утилизационных установок.

Очевидно, что практическое применение воздухоохраных технических решений следует проводить уже в настоящее время, и это должно стать насущной задачей как экологических, так и энергетических служб промышленных предприятий.

Цель работы – найти подходы к решению указанной проблемы путем дальнейшего совершенствования существующих и создания новых методов и устройств для сжигания мазута при осуществлении эффективной утилизации теплоты уходящих дымовых газов с учетом требований к охране окружающей среды.

Анализ технического состояния котельного парка железнодорожной отрасли и характеристика способов и устройств, использующих теплоту уходящих дымовых газов

На предприятиях и объектах ОАО «РЖД» эксплуатируется около 18 тысяч разнотипных водогрейных и паровых котлов, и в отрасли насчитывается около 25 марок и типов котлоагрегатов [4, 5]. На предприятиях ДВЖД эксплуатируется около одной тысячи котлов малой и средней мощности. Следует отметить, что в котельных предприятий железнодорожного транспорта (наряду с современными котлами типа ДЕ, Е-1/9, КЕ и др.) эксплуатируются устаревшие конструкции котлоагрегатов, например Ревокатова, Шухова и др. Также продолжают эксплуатироваться малоэкономичные и технически изношенные паровозные котлы серий Еа и Ед, которые имеют величину КПД на 20 – 30 % ниже, чем для современных котлоагрегатов аналогичной тепловой мощности [5, 6]. По тем же данным в котлах ежегодно сжигается более 100 тыс. т у. т., в том числе угля – 70 %, мазута – 25 % и газа – 5 %.

Характерной особенностью котельного парка железнодорожных предприятий можно считать небольшую единичную тепловую мощность от 0,1 до 1,5 МВт, которую имеют котлы марок «Энергия», «Универсал» и другие, работающие в основном на угле [7]. Также особенностью котлов является их сравнительно малая паропроизводительность (от 1 до 10 т/ч), по сравнению с котлоагрегатами, эксплуатируемыми на других промышленных предприятиях.

Проведенный анализ по данным [5, 7] показал, что котельный парк предприятий ДВЖД находится в сложном состоянии и на стадии обновления, а выбросы вредных веществ в атмосферу в целом выше, чем по другим железным дорогам.

Следует отметить, что практических разработок для котельных предприятий ОАО «РЖД» пока явно недостаточно. Котельные многих локомотивных, вагонных депо, дистанций гражданских сооружений эксплуатируются без воздушных рекуператоров и водяных экономайзеров. По данным [7] определено, что экономия топлива при их установке достигает 5 – 10 %, затраты окупаются менее чем за год. Однако такая схема утилизации теплоты уходящих дымовых газов в железнодорожных котельных не нашла распространения вследствие ограничения в поставках оборудования (экономайзеров) заводами-изготовителями.

Далее рассмотрены другие способы утилизации теплоты продуктов сгорания, связанные с применением воздушных рекуператоров (воздухоподогревателей) для нагрева воздуха, подаваемого в топку котлов [4, 5, 8]. Отмечено, что данный способ наиболее эффективен для мазутных котлов, поскольку улучшает качество и полноту сжигания мазута. Авторами в работе [4] показано, что в железнодорожных котельных подобный метод не нашел широкого распространения, хотя реальная экономия сжигаемого топлива может составить 10 – 15 % и все возможности для этого существуют.

Данные устройства имеют следующие преимущества: простота конструкции, безопасность в эксплуатации и повышение эффективности горения мазута. В связи с этим приоритетным мероприятием по повышению эффективности работы мазутных котельных агрегатов на предприятиях ДВЖД необходимо установить воздушный рекуператор в хвостовой части котла, дающий реальную экономию топлива, а также способствующий улучшению процесса горения топлива, вследствие уменьшения закоксовывания жидкостных форсунок. Кроме того, повышается полнота сжигания мазута без образования химического недожога топлива, что является благоприятным фактором при решении экологических проблем [7, 8].

Перспективным следует считать направление утилизации низкопотенциального тепла уходящих дымовых газов с температурой $t_{yx} \leq 200$ °С, до сих пор не находящего применения в железнодорожной отрасли. В то же время практический опыт использования схем низкопотенциального тепла имеется в других отраслях народного хозяйства [10]. Представлен ряд актуальных публикаций, подтверждающих экономическую целесообразность понижения температуры уходящих газов и использования теплоты конденсации водяных паров для подогрева питательной воды в контактных экономайзерах (теплообменниках). Капитальные затраты на переоборудование котлов обычно окупаются менее чем за два года, а экономия топлива может достигать 10 – 15 % [9, 10].

Роль активной насадки в контактных теплообменниках может выполнять любой пучок труб, по которым протекает нагреваемая вода. По данным они отличаются высокой эффективностью и сравнительно малыми затратами [11]. Контактные теплообменники могут устанавливаться за

воздухоподогревателями, то есть последовательная двухступенчатая установка утилизаторов.

В то же время при использовании контактных экономайзеров необходимо учитывать следующие факторы:

– возможную коррозию поверхности нагрева экономайзера, а также дымовой трубы;

– необходимость сохранения достаточной тяги в дымовой трубе для качественного рассеивания продуктов сгорания в атмосфере.

Проанализированные и разработанные вышеуказанные рекомендации можно принять к использованию в мазутных котельных на предприятиях ОАО «РЖД».

Технические разработки новых устройств для сжигания жидкого топлива в котлах с использованием теплоты уходящих дымовых газов

В целях повышения экологичности сжигания жидкого топлива путем его горения в виде водомазутной эмульсии и утилизации теплоты уходящих дымовых газов представляет практический интерес устройство (рис. 1), которое состоит из последовательно соединенных трубопровода подачи мазута 8, фильтра 9, насоса 7, эмульгатора 6, форсунки 2, топки 3, котла 1 и дымовой трубы 4. Участок трубопровода 8' подачи жидкого топлива ближе к котлу был проложен в канале дымохода 5, который использовался для подогрева мазута.

В данном устройстве мазут подогревается до необходимой температуры за счет утилизации теплоты уходящих продуктов сгорания. В результате этого исключается необходимость в дополнительных устройствах подогрева жидкого топлива и значительно уменьшается его обводнение, по сравнению с прямым подогревом острым паром. Сущность технического решения пояснена на рис. 1, где схематично изображено новое устройство для сжигания жидкого топлива.

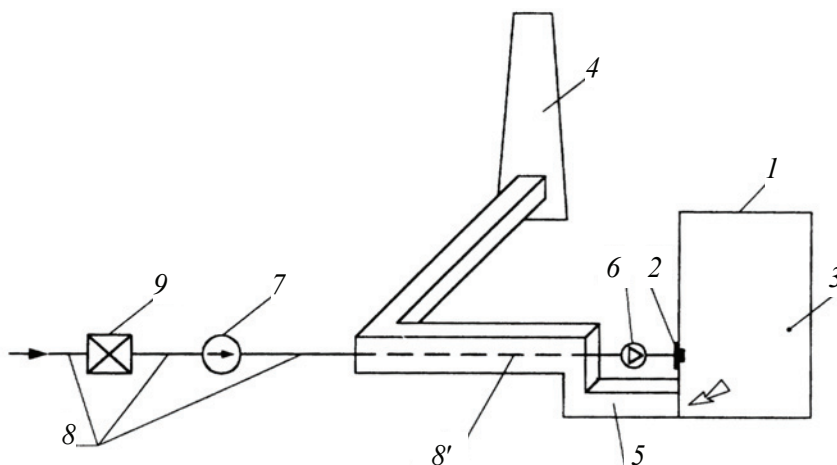


Рис. 1. Схема устройства для экологичного сжигания жидкого топлива при использовании теплоты уходящих дымовых газов (патент № 31990) [12]

Новое устройство работает следующим образом. Мазут по трубопроводу 8 поступает в фильтр 9 при помощи насоса 7. В фильтре 9 жидкое топливо очищается от механических примесей и далее проходит по участку трубопровода 8', проложенному в канале дымохода 5, где подогревается до необходимой температуры за счет теплоты дымовых газов, уходящих из котла 1 через дымоход 5 в дымовую трубу 4 и далее в атмосферу. Подогретый мазут поступает в эмульгатор 6, в котором из него готовится однородная водно-мазутная эмульсия (ВМЭ), подаваемая в форсунку 2, где происходит ее распыление и сжигание в топке 3 котла 1.

Применение данной установки, защищенной авторским патентом [12], позволит обеспечить следующие преимущества перед известными аналогами: новизну и простоту конструкции установки; сокращение выбросов вредных веществ (сажи, оксидов азота и оксида углерода) в атмосферу на 10 – 15 %; повышение КПД на 5 – 10 % котельного агрегата за счет утилизации теплоты уходящих дымовых газов.

В целях дальнейшего повышения экологической эффективности сжигания мазута и уменьшения выбросов токсичных оксидов азота с уходящими дымовыми газами предлагается усовершенствованная конструкция теплоутилизационной установки на базе описанного выше устройства с отличием, заключающимся в подаче пара в зону горения жидкого топлива.

Новая установка для сжигания ВМЭ содержит те же узлы и элементы, а отличительной ее особенностью является дополнительное оборудование топки котла паровой трубой 10 для впрыска пара в зону горения с помощью распылителя 11 (рис. 2).

Впрыск пара обеспечивает снижение максимальной температуры в зоне горения и тем самым сокращение выбросов термических оксидов азота. Отмечено, что подача пара в зону горения топлива позволяет также обеспечить эффективное подавление образования продуктов неполного горения, таких как оксид углерода, сажи и углеводороды за счет увеличения скорости выгорания этих веществ вследствие повышения концентрации радикалов Н и ОН, образуемых при диссоциации водяного пара. В результате наблюдается существенное повышение экологической эффективности

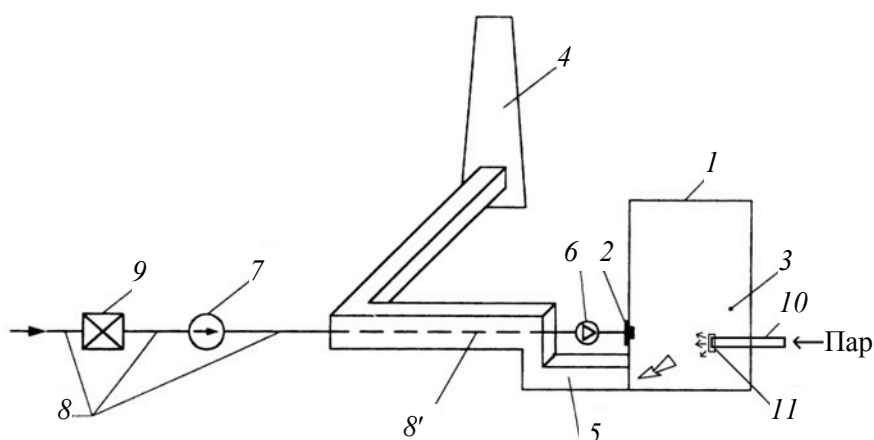


Рис. 2. Схема новой установки для сжигания ВМЭ с подачей пара в топку котла (патент № 187320) [13]

предлагаемого нового устройства, и оно реально может быть рекомендовано для внедрения на нефтеперерабатывающих заводах.

Новое авторское устройство для сжигания ВМЭ с утилизацией теплоты уходящих дымовых газов, дополнительно оборудованное паровой трубой с распылителем в топке котельного агрегата подтверждено патентом на полезную модель [13].

Стоит также отметить, что представляет практический интерес еще одна конструкция энергосберегающей установки для сжигания ВМЭ, созданной и защищенной патентом на полезную модель [14]. Существенным отличием предлагаемого устройства является дополнительная установка эмульгатора на подающем трубопроводе мазута, а в топке котла оборудован специальный инжектор с обратным клапаном для периодической подачи холодного воздуха. Благодаря указанным отличительным признакам существенно повышается экологическая эффективность сжигания ВМЭ. Это объясняется тем, что поступающий на сжигание мазут предварительно проходит через эмульгатор, где готовится для сжигания ВМЭ, при сгорании которой снижаются выбросы вредных веществ. Через инжектор с обратным клапаном поступает холодный воздух в топку, уменьшая максимальную температуру горения, что подавляет образование токсичных оксидов азота.

Заключение

На основании представленного материала можно сделать следующие выводы и рекомендации. Проведен анализ существующих методов и устройств для утилизации тепла уходящих дымовых газов котельных на предприятиях железнодорожного транспорта, а также предложены рекомендации по их практическому применению. Разработаны и рекомендованы к внедрению в котельных установках принципиально новые технические решения для экологичного сжигания жидкого топлива с утилизацией тепла уходящих дымовых газов, направленные на снижение расхода топлива и сокращение вредных выбросов в атмосферу.

Список литературы

1. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности : Федер. закон. от 23.11.2009 № 261-ФЗ. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 06.03.2025).
2. Об охране окружающей среды : Федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 06.03.2025).
3. Экологическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» до 2030 года и на перспективу до 2035 года. – URL : <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105104?id=2008> (дата обращения 06.03.2025).
4. Булгаков, С. В. Повышение экологической эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в котельных и на транспорте / С. В. Булгаков, В. Д. Катин. – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2015. – 147 с.
5. Теплоэнергетика железнодорожного транспорта : справочно-методическое пособие для инженеров-теплотехников железно-дорожного транспорта / Б. Н. Ми-

наев, Г. П. Мокриденко, Л. Я. Левенталь ; под общ. ред. Б. Н. Минаева. – М. : МГУПС, 2006. – 347 с.

6. Катин, В. Д. Методы и устройства сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу из котлов на предприятиях железнодорожного транспорта / В. Д. Катин. – М. : Транспорт, 2013. – 86 с.

7. Катин, В. Д. Пути решения проблем экологии и энергоресурсосбережения на железнодорожном транспорте / В. Д. Катин, М. Х. Ахтямов, А. А. Журавлев. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2023. – 136 с.

8. Минаев, Б. Н. Вопросы теплоэнергетики и экологии на железнодорожном транспорте / Б. Н. Минаев. – М. : Изд-во МИИТ, 2015. – 115 с.

9. Воликов, А. Н. Совершенствование энергосберегающих и природоохранных технологий и конструкций отопительно-коммунальных котельных малой мощности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. Н. Воликов. – СПб., 2004. – 50 с.

10. Катин, В. Д. Энергосберегающие и экологичные технологии в нефтегазовой и других отраслях промышленности : учеб. пособие / В. Д. Катин, М. Н. Шевцов, А. А. Журавлев. – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2022. – 128 с.

11. Сигал, И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И. Я. Сигал. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Недра : Ленингр. отд-ние, 1998. – 310 с.

12. Пат. № 31990 Российская Федерация, МКИ В01F 3/06. Устройство для сжигания жидкого топлива / Катин В. Д., Вольхин И. В. ; заявитель и патентообладатель Дальневосточный государственный университет путей сообщения ; № 2003111684/20 ; заявл. 25.04.2003 ; опубл. 10.09.2003. Бюл. № 25. – 6 с.

13. Пат. № 187320 Российская Федерация, МКИ В01F 3/06. Устройство для сжигания жидкого топлива / Катин В. Д., Нестеров В. И., Шевцов М. Н. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»; № 2018139141 ; заявл. 06.11.2018 ; опубл. 01.03.2019. Бюл. № 7.

14. Пат. № 207269 Российская Федерация, МКИ В01F 3/06. Устройство для сжигания жидкого топлива / Журавлев А. А., Катин В. Д. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» ; № 2021120253 ; заявл. 08.07.2021 ; опубл. 21.10.2021. Бюл. № 30. – 6 с.

References

1. available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (accessed 06 March 2025).

2. available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (accessed 06 March 2025).

3. available at: <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105104?id=2008> (accessed 06 March 2025).

4. Bulgakov S.V., Katin V.D. *Povysheniye ekologicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya toplivno-energeticheskikh resursov v kotel'nykh i na transporte* [Increasing the environmental efficiency of using fuel and energy resources in boiler houses and transport], Khabarovsk: Izdatel'stvo TOGU, 2015, 147 p. (In Russ.)

5. Minayev B.N. (Ed.), Mokridenko G.P., Levental' L.Ya. *Teploenergetika zheleznodorozhnogo transporta: spravochno-metodicheskoye posobiye dlya inzhenerov-teplotekhnikov zheleznodorozhnogo transporta* [Thermal power engineering of railway transport: a reference and methodological manual for heating engineers of railway transport], Moscow: MGUPS, 2006, 347 p. (In Russ.)

6. Katin V.D. *Metody i ustroystva sokrashcheniya vybrosov vrednykh veshchestv v atmosferu iz kotlov na predpriyatiyakh zheleznodorozhnogo transporta* [Methods and devices for reducing emissions of harmful substances into the atmosphere from boilers at railway transport enterprises], Moscow: Transport, 2013, 86 p. (In Russ.)

7. Katin V.D., Akhtyamov M.Kh., Zhuravlev A.A. *Puti resheniya problem ekologii i energoresursosberezheniya na zheleznodorozhnom transporte* [Ways to solve problems of ecology and energy conservation in railway transport], Khabarovsk: Izdatel'stvo DVGUPS, 2023, 136 p. (In Russ.)

8. Minayev B.N. *Voprosy teploenergetiki i ekologii na zheleznodorozhnom transporte* [Issues of heat power engineering and ecology in railway transport], Moscow: Izdatel'stvo MIIT, 2015, 115 p. (In Russ.)

9. Volikov A.N. *Extended abstract of Doctor's of Engineering thesis*, St. Petersburg, 2004, 50 p. (In Russ.)

10. Katin V.D., Shevtsov M.N., Zhuravlev A.A. *Energosberegayushchiye i ekologichnyye tekhnologii v neftegazovoy i drugikh otraslyakh promyshlennosti: ucheb. posobiye* [Energy-saving and environmentally friendly technologies in the oil and gas and other industries: textbook], Khabarovsk: Izdatel'stvo TOGU, 2022, 128 p. (In Russ.)

11. Sigal I.Ya. *Zashchita vozdušnogo basseyna pri szhiganii topliva* [Protection of the air basin during fuel combustion], St. Petersburg: Nedra: Leningr. otdeleniye, 1998, 310 p. (In Russ.)

12. Katin V.D., Vol'khin I.V. *Ustroystvo dlya szhiganiya zhidkogo topliva* [Device for burning liquid fuel], Russian Federation, 2003, Pat. № 31990 (In Russ.)

13. Katin V.D., Nesterov V.I., Shevtsov M.N. *Ustroystvo dlya szhiganiya zhidkogo topliva* [Device for burning liquid fuel], Russian Federation, 2019, Pat. № 187320 (In Russ.)

14. Zhuravlev A.A., Katin V.D. *Ustroystvo dlya szhiganiya zhidkogo topliva* [Device for burning liquid fuel], Russian Federation, 2021, Pat. № 207269 (In Russ.)

Increasing the Environmental Friendliness of Fuel Oil Burning in Boiler Rooms by Using New Energy-Saving Equipment

V. D. Katin, M. Kh. Akhtyamova, A. A. Zhuravlev

*Far Eastern State Transport University;
Pacific State University, Khabarovsk, Russia*

Keywords: air heaters; water economizers; nitrogen oxide and soot emissions; contact heat exchangers; boiler plants; railway transport enterprises; liquid fuel combustion; flue gas heat resource utilizers.

Abstract: The article analyzes the methods of railway transport used at boiler plants for the utilization of heat from foreign combustion products emitted from steam and hot water boilers during combustion of liquid fuel. Fundamentally new equipment for reducing emissions of harmful substances approved by patents for utility models is recommended. Recommendations are developed for the selection of rational energy-saving equipment for boilers created for environmentally friendly combustion of fuel oil in order to reduce harmful environmental types of fuel, save and increase the efficiency of boiler houses by reducing heat losses with removal by flue gases.

© В. Д. Катин, М. Х. Ахтямов, А. А. Журавлев, 2025