



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ НА ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛАХ

*В.К. Любов, А.Н. Попов, Е.И. Попова, И.И. Цыпнятов*

ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова.  
Набережная Северной Двины, д.17, г. Архангельск, Россия, 163002,  
тел.:+7 (81-82) 21-61-75, [v.lubov@narfu.ru](mailto:v.lubov@narfu.ru).

doi: 10.15518/isjaee.2020.11.006

Заключение совета рецензентов: 26.10.20

Заключение совета экспертов: 26.10.20

Принято к публикации: 30.10.20

В статье рассмотрены конструктивные особенности и режимы работы водогрейных котлов КВм-4,0Д, проведен анализ их технико-экономических и экологических показателей при изменении теплопроизводительности в диапазоне от 0,32 до 1,15 от номинальной. Исследован фракционный состав топлив, золы и шлака. Проверена механическая прочность и истираемость гранулированного топлива, а также их изменение при прохождении гранул по элементам топливоподачи. Определено содержание горючих веществ в золе и шлаке, и влияние недожога горючих веществ в различных фракциях очаговых остатков на величину потерь тепла с механическим недожогом топлива. Проведен теплотехнический анализ древесных гранул. Определены составляющие теплового баланса. Предложены рекомендации по дальнейшему повышению энергоэкологических показателей водогрейных котлов, которые создают основу для совершенствования конструкций теплогенерирующих установок, работающих на древесных гранулах. После конструктивной доработки, связанной с монтажом дополнительной линии рециркуляции отработанных дымовых газов под колосниковую решетку, котлоагрегаты КВм-4,0Д обеспечили эффективное сжигание древесных гранул с технико-экономическими и экологическими показателями, превышающими показатели австрийских водогрейных котлов той же мощности. Учитывая, что в очаговых остатках данных котлов содержится значительное количество СаО и большое количество мелкодисперсных частиц, размером менее 45 мкм, данные пылевые частицы имеют повышенную опасность для здоровья обслуживающего персонала котельной. Для поддержания высоких технико-экономических и экологических показателей работы котлов необходимо обеспечить периодический контроль плотности всех элементов газового тракта и системы золошлакоудаления, а также регулярную уборку производственных помещений. Выполненные исследования показали, что данные котлы не рекомендуется длительно использовать в режимах работы с низкой нагрузкой, так как такие режимы сопровождаются повышенными значениями эмиссии монооксида углерода, а, следовательно, и потерь тепла с химической неполнотой сгорания в связи с большими коэффициентами избытков воздуха.

**Ключевые слова:** биотопливо, гранулы, выбросы вредных веществ, эмиссия сажи, котлоагрегат, тепловые потери, рециркуляция газов.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF PELLET HOT WATER BOILERS

*V.K Lyubov, A.N. Popov, E.I. Popova, I.I. Tsypnyatov*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.  
Russia, 163002 Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 17,  
tel.:+7 (81-82) 21-61-75, [v.lubov@narfu.ru](mailto:v.lubov@narfu.ru).

doi: 10.15518/isjaee.2020.11.006



The article considers the design features and operating modes of KVM-4.0D hot water boilers, analyzes their technical, economic and environmental indicators when changing the heat output in the range from 0.32 to 1.15 of the nominal value. The fractional composition of fuels, ash and slag has been investigated. Durability of the pellets have been tested as well as its change when the granules pass through the fuel supply system. The content of combustible substances in ash and slag and the effect of underburning of combustible substances in various fractions of combustion residues on the carbon loss have been determined. Thermal analysis of wood pellets was carried out. The components of the heat balance have been determined. Recommendations for further improving the energy and environmental performance of hot water boilers are proposed, which create the basis for improving the designs of heat-generating plants operating on wood pellets. After constructive revision associated with the installation of an additional line for recirculation of exhaust flue gases under the grate, the KVM-4.0D boilers ensured efficient combustion of wood pellets with technical, economic and environmental indicators exceeding those of Austrian hot water boilers of the same capacity. Considering that the focal residues of these boilers contain a significant amount of CaO and a large amount of fine particles less than 45 microns in size, these dust particles have an increased health hazard for the boiler house operator. To maintain high technical, economic and environmental performance of the boilers, it is necessary to ensure periodic monitoring of the density of all elements of the gas path and the ash removal system, as well as regular cleaning of industrial premises. The studies carried out have shown that these boilers are not recommended for long-term use in operating modes with low load, since such modes are accompanied by increased values of carbon monoxide emission, and, consequently, heat losses with chemical incompleteness of combustion due to high air excess ratios.

**Keywords:** biofuels, pellets, emissions of harmful substances, soot emission, boiler, heat losses, gas recirculation.



Любов Виктор  
Константинович  
Lyubov Viktor  
Konstantinovich

**Сведения об авторе:** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики и теплотехники высшей школы энергетики, нефти и газа САФУ имени М.В. Ломоносова.

**Образование:** АЛТИ, 1976.

**Область научных интересов:** Котельные установки, биоэнергетика, возобновляемые и альтернативные источники энергии, технологические процессы гранулирования и брикетирования, теплотехнические свойства топлива, промышленные выбросы вредных веществ, энергоэффективность, энергосбережение.

**Публикации:** 342.

**Information about the author:** Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Power and Heat Engineering, Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov.

**Education:** AFTI, 1976.

**Research interests:** Boiler plants, bioenergetics, renewable and alternative energy sources, technological processes of granulation and briquetting, thermal properties of fuel, industrial emissions of harmful substances, energy efficiency, energy saving.

**Publications:** 342.



Попов Анатолий  
Николаевич  
Popov Anatoly Nikolaevich

**Сведения об авторе:** кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники высшей школы энергетики, нефти и газа САФУ имени М.В. Ломоносова.

**Образование:** АГТУ, 2009.

**Область научных интересов:** Биоэнергетика, возобновляемые и альтернативные источники энергии, технологические процессы гранулирования и брикетирования, теплотехнические свойства топлива, промышленные выбросы вредных веществ, энергоэффективность, энергосбережение.

**Публикации:** 53.

**Information about the author:** Ph.D., Assistant professor of the department of Power and Heat Engineering, Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov.

**Education:** ASTU, 2009.

**Research interests:** Bioenergetics, renewable and alternative energy sources, technological processes of granulation and briquetting, thermal properties of fuel, industrial emissions of harmful substances, energy efficiency, energy saving.

**Publications:** 53.



Попова Евгения  
Игоревна  
Popova Evgeniya  
Igorевна

**Сведения об авторе:** кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники высшей школы энергетики, нефти и газа САФУ имени М.В. Ломоносова.

**Образование:** САФУ, 2012.

**Область научных интересов:** Биоэнергетика, термомодификация древесины, возобновляемые источники энергии, технологические процессы гранулирования и брикетирования, теплотехнические свойства топлива, энергоэффективность теплогенерирующих установок, энергосбережении.

**Публикации:** 51.

**Information about the author:** Ph.D., Assistant professor of the department of power and heat engineering, Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov.

**Education:** NARFU, 2012.

**Research interests:** Bioenergetics, wood thermal decomposition, renewable energy sources, technological processes of granulation and briquetting, thermal properties of fuel, energy efficiency of heat-producing plants, energy saving.

**Publications:** 51.



Цыпнятов Илья  
Игоревич  
Tsyurnyatov Ilya  
Igorovich

**Сведения об авторе:** студент магистратуры по специальности теплоэнергетика и теплотехника «энергомеджмент», высшей школы энергетики, нефти и газа САФУ имени М.В. Ломоносова.

**Образование:** САФУ, 2020.

**Область научных интересов:** Биоэнергетика, возобновляемые источники энергии, технологические процессы гранулирования и брикетирования, теплотехнические свойства топлива, энергоэффективность теплогенерирующих установок, энергосбережение, котельные установки.

**Публикации:** 1.

**Information about the author:** master's degree student of power and heat engineering "energy management", Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov.

**Education:** NARFU, 2020.

**Research interests:** Bioenergetics, renewable energy sources, technological processes of granulation and briquetting, thermal properties of fuel, energy efficiency of heat-producing plants, energy saving, boiler plants.

**Publications:** 1.

## Введение

Сегодня как никогда актуален вопрос перехода к низкоуглеродному развитию. Порядка 70% вводимых в эксплуатацию энергетических установок базируются на использовании возобновляемых источников энергии. Одним из возобновляемых источников энергии, как известно, является биотопливо. Главным фактором выбора биотоплива является то, что выбросы углекислого газа при его сжигании считаются равными нулю, так как в процессе роста растения поглотили такое же количество углекислого газа и выделили кислород. Помимо климатических нейтральных выбросов углекислого газа, важной особенностью данного вида топлива является значительное снижение выбросов оксидов серы, азота и летучей золы. Поэтому государственной научно-технической программой РФ «Экологическая чистая энергетика» в качестве одного из приоритетных направлений рассматривается использование биомассы [1].

Но в современном мире недостаточно использовать энергию биомассы, так как это делали многие поколения до нас. Большое распространение получила энергетическая утилизация побочных продуктов лесопромышленного комплекса. Наибольшую проблему при их сжигании представляет высокая относительная влажность, достигающая 80-85 % для коры, при мокрой окорке. При высокой влажности ухудшаются теплотехнические характеристики топлива, увеличиваются потери тепла с уходящими га-

зами, что ведет к снижению общего коэффициента полезного действия (КПД) котлоагрегата [1]. Вторая проблема, возникающая в процессе сжигания, неоднородный гранулометрический состав данного вида топлива.

Существуют пять путей решения данных проблем:

- 1) сжигание на наклонно переталкивающей решетке в «адиабатической» топке;
- 2) подмешивание к влажному топливу сухой древесины или другого топлива, с высокой теплотворной способностью;
- 3) предварительная сушка биотоплива перед последующим сжиганием;
- 4) применение технологии кипящего слоя;
- 5) облагораживание биотоплива путем гранулирования.

При этом гранулирование биотоплив наиболее эффективно решает все проблемы, возникающие при его сжигании [1], [2] - [4]. В процессе подготовки исходного сырья и формирования гранул, биомасса подсушивается, измельчается и гранулируется, что позволяет обеспечить однородный гранулометрический состав и автоматизировать процесс топливоподдачи. Помимо этого, значительно повышается энергетическая плотность топлива.

Для оптимального развития энергетики необходимо не только вводить современные установки, с высоким КПД и низкими выбросами вредных веществ, но и наметить пути для оптимизации и совершенствования существующих.



<b>Список обозначений</b>	
<b>Буквы греческого алфавита</b>	
$\eta$	Коэффициент полезного действия
<b>Буквы латинского алфавита</b>	
$F$	Значение фракционного остатка
$E$	Энергия
$C$	Содержание
$x$	Размер ячеек сита
<b>Буквы русского алфавита</b>	
КВм-4,0Д	Котел водогрейный модернизированный, на древесных гранулах, мощностью 4 МВт
КПД	Коэффициент полезного действия
ст.	Станционный
<b>Индексы верхние</b>	

г	Горючие вещества
<b>Индексы нижние</b>	
ун	В летучей золе
шл	В шлаке
бал	В балансовой точке
ка	Котлоагрегата
<b>Единицы измерения</b>	
$^{\circ}\text{C}$	Градусов по шкале Цельсия
мг/МДж	Миллиграмм на мегаджоуль
т/ч	Тонн в час
мкм	Микрометры
МВт	Мегаватт
Па	Паскаль
<b>Аббревиатуры</b>	
РФ	Российская Федерация

## 1. Объекты и методы исследования

При выполнении данной работы были проведены балансовые опыты на котлоагрегатах КВм-4,0Д, установленных в поселке Катунино Архангельской области. Конструкция котлоагрегатов представлена на рисунке 1.

В данной работе был исследован фракционный состав гранул, отпущенных с завода изготовителя, гранул, поступающих непосредственно в котел, а также золы и шлака с котельной. Исследование гранулометрического состава топлива и очаговых остатков проводились с помощью анализатора AS 200 Control и анализатора «029» в соответствии с [5].

Механическая прочность и истираемость гранулированного топлива определялась в соответствии со стандартом EN 15210-1, с использованием портативного тестера NHP 100 немецкой фирмы Holmen (лигнотестер).

На установках лаборатории комплексного термического анализа топлива и калориметре I-КА С 2000 basic Version 2 с жидкостным криотермостатом LOIP FT-216-25 был проведен теплотехнический анализ древесных гранул.

Для определения потерь тепла в окружающую среду использовался комбинированный метод: относительный, при котором для определения температур

ограждающих конструкций котлов, использовался пирометр и тепловизионный метод [6]. При выполнении съемки использовался тепловизор «Testo 885-2», позволяющий получить в реальном времени картину распределения температур на поверхности объекта с точностью  $\pm 2\%$ .

Для определения расходов дымовых газов использовалась пневмометрическая трубка системы ВТИ и микроанометр цифрового типа. Расход воздуха и состав продуктов сгорания определялись с помощью прецизионного прибора «Testo-435» и газоанализатора «Testo-350 XL».

Для определения запыленности дымовых газов использовался метод внешней фильтрации [7, 9], при этом для отбора запыленного потока из газопроводов использовался фильтродержатель АФА. Отбор запыленного потока проводился при условиях близких кизокинетическим, при этом использовались данные предварительно проведенных тарировок. Для измерения и регулирования расхода, отбираемых продуктов сгорания, применялось аспирационное устройство «ОП-442 ТЦ». Расчет концентраций твердой фазы в дымовых газах и ее массы проводился в соответствии с требованиями [7].

Вся обработка экспериментальных данных по исследованию работы котлоагрегатов №№ 4,5 проводилась с помощью многомодульного программно-методического комплекса [1,5].

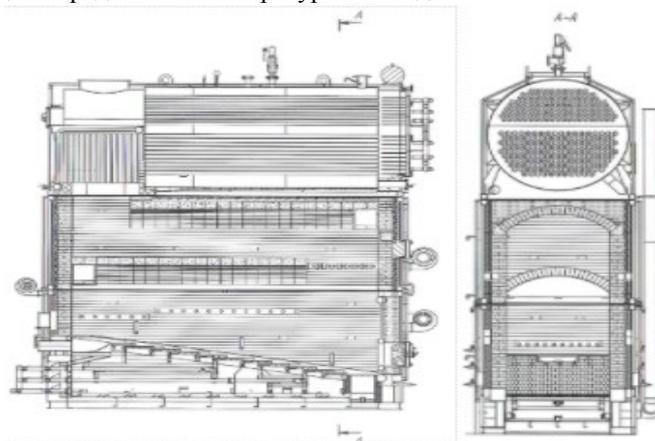


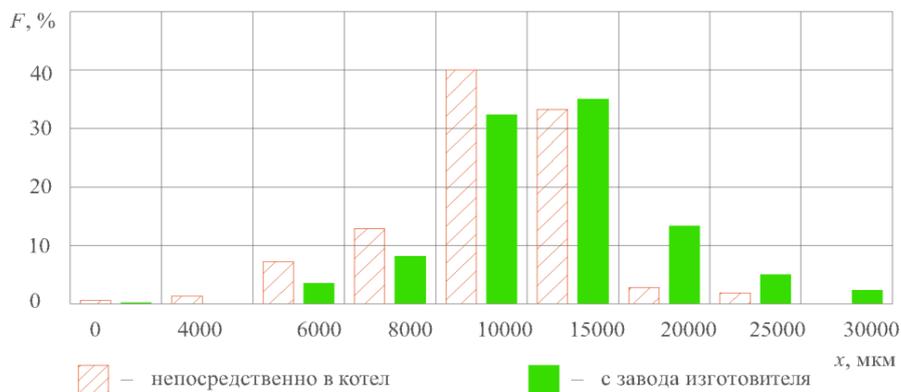
Рис.1. Конструкция котлоагрегата КВм-4,0Д  
Fig 1. The design of KVm-4,0D boiler

## 2. Результаты исследования и их обсуждение

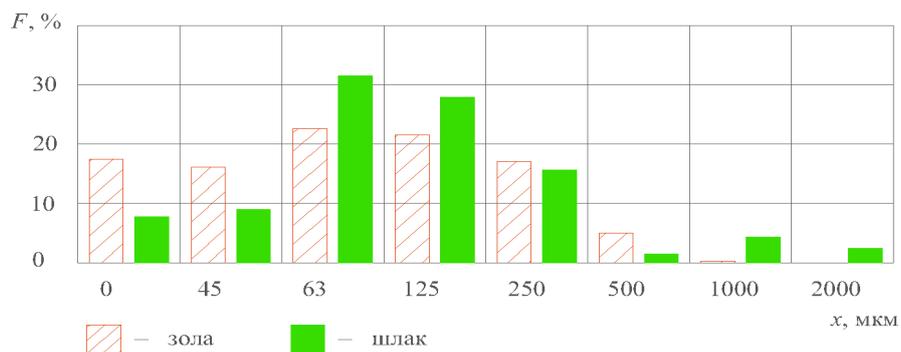
Как можно видеть из рисунка 2, пребывание гранул в силосе и последующее их прохождение по элементам топливоподдачи вызывает некоторое снижение их крупности и однородности. Коэффициент полидисперсности при этом снизился с 3,995 до 3,729. Экспериментальные исследования механической прочности гранул показали, что для гранул,

отпущенных с завода изготовителя, механическая прочность снизилась с 99,19 до 99,05 % в процессе их транспортировки и прохождения через систему топливоподдачи. Однако топливо, поступающее в котел, полностью соответствовало требованиям российских и международных стандартов.

Гистограммы, характеризующие фракционные остатки на ситах с ячейками различного размера, для очаговых остатков приведены на рисунке 3.



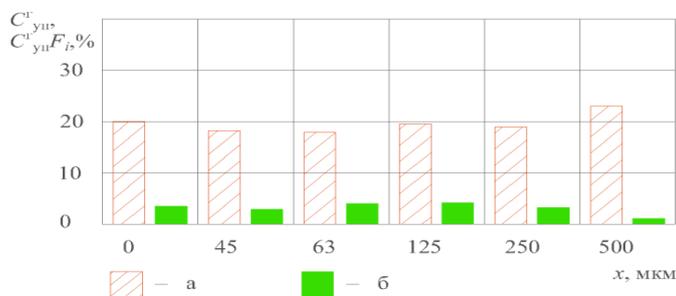
**Рис. 2.** Значения фракционных остатков для гранул, отобранных перед горелкой котла и отпущенных с завода изготовителя  
**Fig. 2.** Fractional distribution of pellets taken at the boiler inlet and from the manufacturer's plant



**Рис. 3.** Фракционное распределение летучей золы и шлака  
**Fig. 3.** Fractional distribution of fly ash and slag

Исследования распределения горючих веществ по фракциям в летучей золе показали, что максимальное содержание горючих имеют частицы с размером  $d_p \geq 500$  мкм (рис. 4, а). Однако их массовая доля

в летучей золе мала, поэтому определяющее влияние на величину механического недожога топлива с уносом оказывает содержание горючих веществ в частицах  $d_p < 500$  мкм (рис. 4, б).



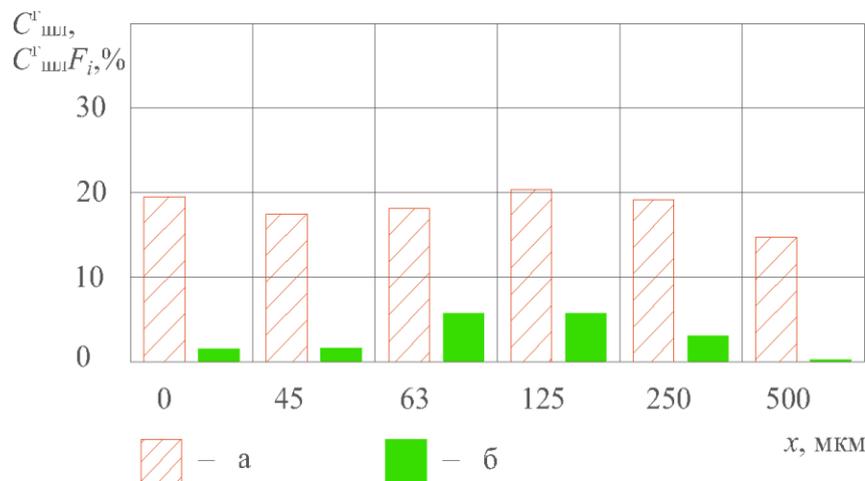
**Рис. 4.** Содержание горючих веществ в летучей золе котлов КВм-4,0Д при сжигании древесных гранул: а – содержание горючих веществ; б – содержания горючих веществ с учетом массовых долей различных фракций.

**Fig. 4.** The content of combustible substances in fly ash of KVm-4,0D boilers when burning wood pellets: a - the content of combustible substances; b - the content of combustible substances, taking into account weight percentage of various fractions.



Исследования распределения горючих веществ по фракциям в очаговых остатках после колосниковых решеток обследованных котлов показали, что максимальное содержание горючих имеют частицы с размером  $d_c < 500$  мкм (рис. 5, а). Однако их массовая доля в очаговых остатках мала, поэтому определяющее влияние на величину механического недожога топлива с провалом и шлаком оказывает содержание горючих веществ в частицах  $63 \leq \delta < 500$  мкм (рис. 5, б).

Балансовые опыты на котлоагрегатах №№ 4, 5 были проведены в диапазоне нагрузок от 32 до 115 % от номинальной, при этом температура воды на выходе из котлов изменялась в диапазоне 80,8–97,5 °С.



**Рис. 5.** Содержание горючих веществ в шлаке и провале котла КВМ-4,0Д ст. №4 при сжигании древесных гранул: а – содержание горючих веществ; б – содержания горючих веществ с учетом массовых долей различных фракций

**Fig. 5.** The content of combustible substances in slag of KVM-4,0D boiler No. 4 when burning wood pellets: a - the content of combustible substances; b - the content of combustible substances, taking into account weight percentage of various fractions

При проведении балансовых опытов КПД брутто изменялся в следующих диапазонах: 87,67–91,64 % для котлоагрегата №4 и 88,91–91,66 % для котла №5. При этом КПД брутто у котлоагрегата №5 был несколько выше за счет меньшей доли рециркуляции отработанных дымовых газов и меньших значений коэффициента избытка воздуха.

Поддержание умеренных значений коэффициентов избытка воздуха в топочных камерах обследованных котлов и наличие системы ступенчатого сжигания топлива, а также рециркуляции продуктов сгорания позволили получить низкие значения эмиссий оксидов азота от 29 до 72 мг/МДж.

Высокое качество сжигаемого топлива, организация ступенчатой схемы сжигания, достаточно оптимальное распределение воздушных потоков и газов рециркуляции, а также повышенная протяженность газового тракта с помощью промежуточного свода позволили обеспечить высокий уровень выгорания

Полный расход древесных гранул в исследованном диапазоне нагрузок составлял 0,295–1,041 т/ч.

По результатам балансовых опытов, выполненных в соответствии с рекомендациями [7],[8], были построены гистограммы эмиссии монооксида углерода, оксидов азота и КПД котлоагрегатов при пяти различных нагрузках (рис. 6, 7).

Низкие значения эмиссий оксида углерода, даже при малых избытках воздуха 1,15-1,18, обусловлены значительным превышением скорости третичного воздуха над скоростью вторичного воздуха, что позволяет интенсивно перемешивать продукты сгорания на выходе из камеры сгорания.

монооксида углерода. Диапазон изменения эмиссий монооксида углерода при проведении балансовых опытов составил 1–36 мг/МДж, что является очень хорошим показателем.

Результаты тепловизионных съемок обшивки наружных поверхностей водогрейных котлов КВМ-4.0Д показали (рис. 8, 9) наличие большого количества участков, температура которых не соответствует требованиям действующих нормативных документов [8].

Среднее значение эмиссии твердых веществ в продуктах сгорания, поступающих в дымовую трубу, составило 40,60 мг/МДж, а эмиссия сажевых частиц 7,65 мг/МДж при нагрузке 1,3 МВт и  $a_{\text{бал}} = 1,77$  (котел №5). Для котлоагрегата №4 при теплопроизводительности 3,98 МВт и  $a_{\text{бал}} = 1,26$  среднее значение эмиссии твердых веществ в продуктах сгорания, поступающих в дымовую трубу, составило 76,60 мг/МДж, а эмиссия сажевых частиц 13,66 мг/МДж.

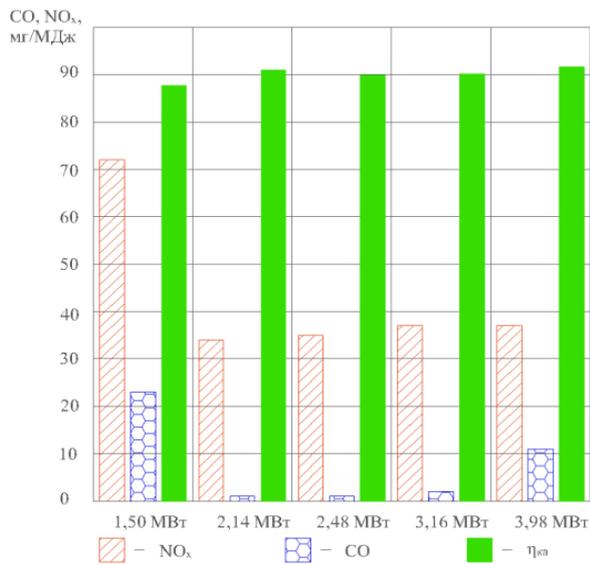


Рис. 6. Изменение КПД и эмиссий оксидов углерода и азота в зависимости от нагрузки котла ст. №4

Fig. 6. Changes in efficiency and emissions of carbon and nitrogen oxides depending on the boiler No. 4 output

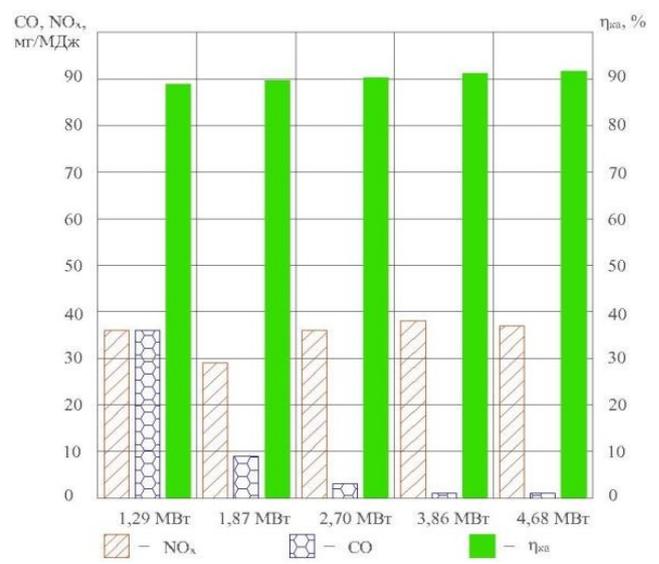


Рис. 7. Изменение КПД и эмиссий оксидов углерода и азота в зависимости от нагрузки котла ст. №5

Fig. 7. Changes in efficiency and emissions of carbon and nitrogen oxides depending on the boiler No. 5 output



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

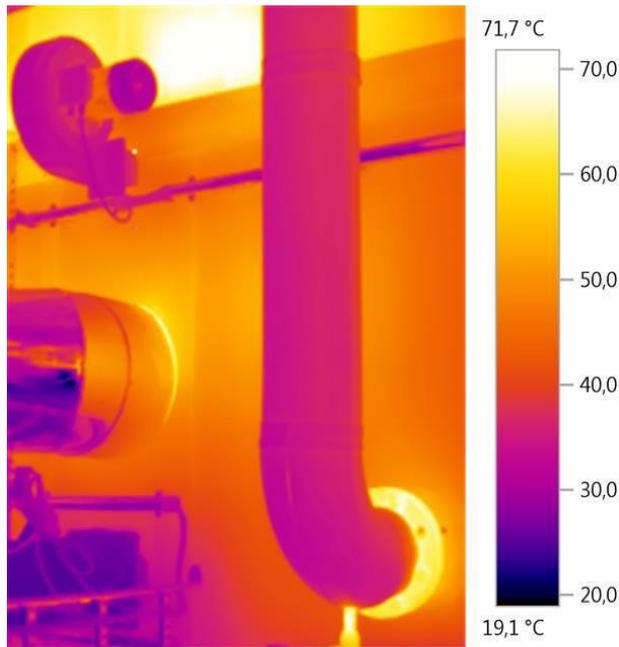
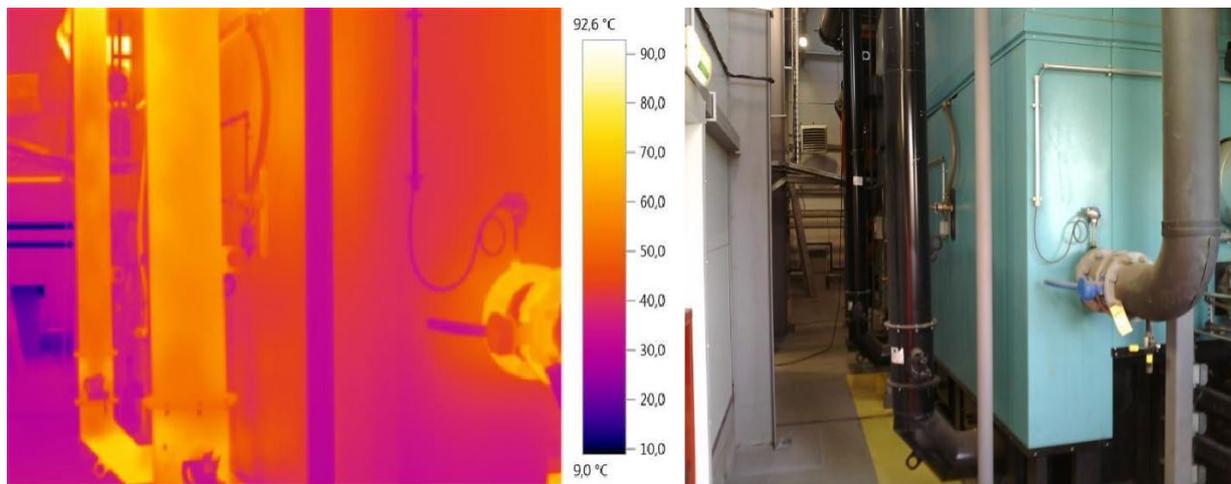


Рис. 8. Фронтальная стена котла КВм-4,0Д ст. №4 и ее тепловизионная съемка.

Fig. 8. Front wall of KVm-4,0D boiler No. 4 and its thermal imaging.





**Рис. 9.** Система рециркуляции газов под колосниковую решетку котла КВм-4,0Д ст. №5 и ее тепловизионная съемка.  
**Fig. 9.** Gas recirculation system under the grate of KVm-4,0D boiler No. 5 and its thermal imaging.

Полученные результаты свидетельствуют о низких значениях выбросов в атмосферный воздух твердых частиц, включая сажевые. Наличие в золе значительного количества мелких фракций с размером частиц менее 45 мкм позволяет сделать вывод об удовлетворительной сепарационной способности элементов газовых трактов котлов и их золоуловителей.

### Заклучение

После конструктивной доработки, связанной с монтажом дополнительной линии рециркуляции отработанных дымовых газов под колосниковую решетку, котлоагрегаты КВм-4,0Д обеспечили эффективное сжигание древесных гранул с технико-экономическими и экологическими показателями, превышающими показатели австрийских водогрейных котлов той же мощности.

Учитывая, что в очаговых остатках данных котлов содержится значительное количество СаО и большое количество мелкодисперсных частиц, размером менее 45 мкм, данные пылевые частицы имеют повышенную опасность для здоровья обслуживающего персонала котельной. Для поддержания высоких технико-экономических и экологических показателей работы котлов необходимо обеспечить периодический контроль плотности всех элементов газового тракта и системы золошлакоудаления, а также регулярную уборку производственных помещений.

Выполненные исследования показали, что данные котлы не рекомендуется длительно использовать в режимах работы с низкой нагрузкой, так как такие режимы сопровождаются повышенными значениями эмиссии монооксида углерода, а, следовательно, и потерь тепла с химической неполнотой сгорания в связи с большими коэффициентами избытков воздуха.

Обеспечение работы котлов с оптимальными разрежениями в топочных камерах (40–50 Па) и концентрациями кислорода (5–7 %) в продуктах сгора-

ния после котлов создаст предпосылки для дальнейшего снижения эмиссий оксидов азота и расхода электроэнергии на собственные нужды. Оптимизация рециркуляции дымовых газов открывает дополнительные возможности для повышения эффективности работы котлоагрегатов, так снижение рециркуляции на 10 % позволяет увеличить КПД нетто на 0,1–0,2 %.

К сожалению, на котлоагрегатах отсутствуют системы контроля разрежения в газовых трактах котлов до и после золоуловителей. Это исключило возможность получения важной информации, характеризующей нагрузку котлов и состояние газодынных теплообменников и золоуловителей.

Необходимо отметить, что энергетическое обследование проводилось на котлах, которые недавно прошли чистку. По данным обслуживающего персонала наличие системы пневмоочистки позволяет обеспечить период эксплуатации котлов КВм-4.0Д между остановами до 1,5–2 месяцев.

### Список литературы

1. Любов, В.К. Повышение эффективности энергетического использования биотоплив: учеб. пособие / В.К. Любов, С.В. Любова. – Архангельск: ОАО «Солти», 2010. – 496 с.
2. Попов, А.Н. Тензометрические исследования процесса прессования древесных гранул на грануляторе с плоской матрицей / А.Н. Попов [и др.] // Вестник ЧГУ. Научный журнал. Технические науки. – 2015. - №8. – С. 14- 18.
3. Попов, А.Н. Математическая модель и процесс производства древесного гранулированного топлива / А.Н. Попов [и др.] // Химия твердого топлива. - 2016, - №2. – С. 38-45.
4. Lyubov, V.K. Torrefaction of Hydrolytic Lignin / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // Solid fuel chemistry. – 2018. - vol. 52. - №4. - PP. 230-239.
5. Любов, В.К. Программно-методический комплекс для обработки результатов испытаний тепло-

энергетического оборудования и расчета вредных выбросов. / В.К. Любов, В.А. Дьячков // Труды 2-й Российской Национальной конференции по теплообмену. – 1998. – Т.3 – С. 225 – 228.

6. Любов В.К. Определение потерь тепла в окружающую среду на основе комплексного исследования эффективности работы котлов / В.К. Любов и [и др.] // Теплоэнергетика. – №8– 2015. – С. 36-40.

7. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 271 с.

8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей, 14-е изд., перераб.и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 160 с.

9. Трёмбовля, В.И. Теплотехнические испытания котельных установок, 2-е изд., перераб.и доп. / В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фингер, А.А. Авдеева. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.

10. Lyubov, V.K. Granulated biofuels combustion efficiency / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // IOP Conference Series Earth Environmental Science – 2019. – vol. 288. - № 1. – P. 012104.

11. Lyubov V.K. Wood-Based Biofuel Efficiency in the Heat Producing Installation / V.K. Lyubov [etc.] // Bulletin Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal (Forestry journal) – 2017 - № 4 – PP. 149 – 161.

12. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). 3-3 изд., перераб. и доп. – СПб., НПО ЦКТИ. 1998. – 256 с.

13. Sungurova N. R. Energy Potential of Pine and Spruce Cultures/ N. R. Sungurova [etc] // Bulletin Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal (Forestry journal) – 2017. – № 3. – PP. 78-84.

14. Gerasimov, Y. Energy wood resources in Northwest Russia Biomass and Bioenergy/ Y. Gerasimov, T. Karjalainen // Biomass and Bioenergy – 2011 – vol. 35. – PP. 1655-1662.

15. Berdin, V. K. Renewable energy development in Russia: Potential capacities and practical steps / V. K. Berdin [etc.] // European Journal of Political Economy – 2020. – vol. 15. – №2. – PP. 106-135.

16. Porfiriev, B. N. Energy on renewable sources: Prospects for the world and for Russia/ B. N. Porfiriev, S.A. Roginko // Herald of the Russian Academy of Sciences - 2016 - vol. 1. – PP. 433-440.

17. Lyubov, V. K. Emissions of soot particles from heat generators [Electronic resource] / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // Journal of Physics: Conference Series – 2017. - vol. 891 - №1. - Access mode: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/891/1/012217> (Date access: 20/11/2020)

18. Lyubov, V. K. 2019 Study the Efficiency of the Boiler Burning Biofuels and Peat Ecol. / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // Ecology and Industry of Russia – 2019 – vol. 32 – №3 – PP. 20-25.

19. IRENA World Energy Resources: Bioenergy World Energy Council – 2016

20. International Energy Agency World Energy Outlook: Executive Summary – 2018.

## References

1. Lyubov, V.K. Povyshenie ehffektivnosti ehnergeticheskogo ispol'zovaniya biotopliv: ucheb. posobie / V.K. Lyubov, S.V. Lyubova. – Arkhangel'sk: OAO «SoltI», 2010. – 496 s.

2. Popov, A.N. Tenzometricheskie issledovaniya protsessa pressovaniya drevesnykh granul na granulyatore s ploskoi matritsei / A.N. Popov [i dr.] // Vestnik CHGU. Nauchnyi zhurnal. Tekhnicheskie nauki. – 2015. - №8. – S. 14- 18.

3. Popov, A.N. Matematicheskaya model' i protsess proizvodstva drevesnogo granulirovannogo topliva / A.N. Popov [i dr.] // Khimiya tverdogo topliva. - 2016, - №2. – S. 38-45.

4. Lyubov, V.K. Torrefaction of Hydrolytic Lignin / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // Solid fuel chemistry. – 2018. - vol. 52. - №4. - PP. 230-239.

5. Lyubov, V.K. Programmno-metodicheskii kompleks dlya obrabotki rezul'tatov ispytaniy teploehnergeticheskogo oborudovaniya i rascheta vrednykh vybrosov. / V.K. Lyubov, V.A. D'yachkov // Trudy 2-i Rossiiskoi Natsional'noi konferentsii po teplo-obmenu. – 1998. – Т.3 – С. 225 – 228.

6. Lyubov V.K. Opredelenie poter' tepla v okruzhayushchuyu sredu na osnove kompleksnogo issledovaniya ehffektivnosti raboty kotlov / V.K. Lyubov i [i dr.] // Теплоэнергетика. – №8– 2015. – С. 36-40.

7. Sbornik metodik po opredeleniyu kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv v promyshlennykh vybro-sakh. – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 271 s.

8. Pravila tekhnicheskoi ehkspluatatsii ehlektricheskikh stantsii i setei, 14-e izd., pererab.i dop. – М.: Ehnergoatomizdat, 1989. – 160 s.

9. Трёмбовля, В.И. Теплотехнические испытания котельных установок, 2-е изд., перераб.и доп. / В.И. Трёмбовля, Е.Д. Finger, А.А. Авдеева. – М.: Ehnergoatomizdat, 1991. – 416 с.

10. Lyubov, V.K. Granulated biofuels combustion efficiency / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // IOP Conference Series Earth Environmental Science – 2019. – vol. 288. - № 1. – P. 012104.

11. Lyubov V.K. Wood-Based Biofuel Efficiency in the Heat Producing Installation / V.K. Lyubov [etc.] // Bulletin Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal (Forestry journal) – 2017 - № 4 – PP. 149 – 161.

12. Teplovoi raschet kotlov (Normativnyi metod). 3-3 izd., prerab. i dop. – СПб., NPO TSKTI. 1998. – 256 s.

13. Sungurova N. R. Energy Potential of Pine and Spruce Cultures/ N. R. Sungurova [etc] // Bulletin Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal (Forestry journal) – 2017. – № 3. – PP. 78-84.

14. Gerasimov, Y. Energy wood resources in Northwest Russia Biomass and Bioenergy/ Y. Gerasimov, T. Karjalainen // Biomass and Bioenergy – 2011 – vol. 35. – PP. 1655-1662.

15. Berdin, V. K. Renewable energy development in Russia: Potential capacities and practical steps / V. K. Berdin [etc.] // European Journal of Political Economy – 2020. – vol. 15. – №2. – PP. 106-135.

16. Porfiriev, B. N. Energy on renewable sources: Prospects for the world and for Russia/ B. N. Porfiriev,



S.A. Roginko // Herald of the Russian Academy of Sciences - 2016 - vol. 1. – PP. 433-440.

17. Lyubov, V. K. Emissions of soot particles from heat generators [Electronic resource] / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // Journal of Physics: Conference Series - 2017. - vol. 891 - №1.- Access mode: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/891/1/012217> (Date access: 20/11/2020)

18. Lyubov, V. K. 2019 Study the Efficiency of the Voiler Burning Biofuels and Reat Ecol. / V.K. Lyubov, E.I. Popova, A.N. Popov // Ecology and Industry of Russia – 2019 – vol. 32 – №3 – PP. 20-25.

19. IRENA World Energy Resources: Bioenergy World Energy Council – 2016

20. International Energy Agency World Energy Outlook: Executive Summary – 2018.

Транслитерация по BSI



### 3-я Международная молодежная конференция по радиоэлектронике, электротехнике и энергетике (REEPE)

**Россия, Москва**

**Организаторы:** Организаторы: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Контактное лицо:** Assistant Prof. Dr. Mohamed A. Tolba

**e-mail:** [matolba@ieee.org](mailto:matolba@ieee.org)

**Телефон:** +7 (926) 284-42-18

Сфера интересов связана с вопросами регулирования напряжения в электрических сетях 10 кВ и выше, до 1150 кВ, способами повышения динамической устойчивости энергосистемы, разработкой методики испытаний опор воздушных линий электропередачи., методы регулирования электроэнергии, электроснабжение жилых домов и промышленных предприятий, потери электроэнергии в сетях, мониторинг качества электроэнергии и оценка влияния современных электроприборов на электроснабжение, проектирование, разработка, моделирование, эксплуатация, управление и оценка эффективности электростанций на основе возобновляемых источников энергии, а также моделирование природных процессов для практического использования, вопросы, связанные с высоковольтной техникой, релейной защитой и автоматикой.

Конференция предоставляет инженерам, проектировщикам и представителям промышленности уникальную возможность пообщаться с производителями, представителями энергетических компаний и университетских исследователей и обсудить широкий круг тем, связанных с энергетикой, системами энергетики и окружающей средой. Ожидается, что 3-е мероприятие REEPE 2021 станет одним из крупнейших и самых продолжительных в России профессиональных сетевых и образовательных мероприятий. Конференция технически спонсируется Сообществом отраслевых приложений IEEE (IEEE IAS).

Третья конференция REEPE 2021 пройдет с 11 по 13 марта 2021 года в Московском энергетическом институте, Москва, Российская Федерация.

*проконференции.рф*

