

EDN: ACSTFA

УДК 620.91

Evaluation of the Efficiency of Converting a Coal Boiler House to Fuel Pellets from Illiquid Wood

Elena N. Grigorieva* and Evgeniy M. Onuchin
*Volga State University of Technology
Yoshkar-Ola, Russian Federation*

Received 25.09.2024, received in revised form 25.11.2024, accepted 17.12.2024

Abstract. The relevance of the transfer of boiler houses from coal to fuel pellets in the territory of the Republic of Mari El, as well as scientific and practical significance with a brief review of the literature on this issue, is substantiated. A comparative analysis of the parameters of coal and fuel pellets is given and the advantages and disadvantages of boilers using these types of fuels are considered. Options for the construction of a new boiler house, the conversion of the boiler house to another type of fuel, as well as the installation of universal boilers are being considered. A comparison of the principles of operation of a boiler house on different types of fuel, as well as the selection of boiler units for them, is given. The results of the evaluation of the efficiency of the boiler house on coal, fuel pellets and combined fuels are presented. During the comparison of economic indicators, it was found that in order to obtain the lowest cost of 1 Gcal of production and transfer of thermal energy, the conversion of the boiler house to fuel pellets is effective. The technical and technological solutions developed during the study can be used in the operation of coal-fired boilers in the Kilemarsky district of the Republic of Mari El.

Keywords: coal, fuel pellets, illiquid wood, pellet boiler house, combined fuel.

Citation: Grigorieva E. N., Onuchin E. M. Evaluation of the efficiency of converting a coal boiler house to fuel pellets from illiquid wood. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2025, 18(1), 44–56. EDN: ACSTFA



Оценка эффективности перевода угольной котельной на топливные пеллеты из неликвидной древесины

Е. Н. Григорьева, Е. М. Онучин
*Поволжский государственный
технологический университет
Российская Федерация, Йошкар-Ола*

Аннотация. Обоснована актуальность перевода котельных с каменного угля на топливные пеллеты на территории Республики Марий Эл, а также научная и практическая значимость с кратким обзором литературы по данному вопросу. Дан сравнительный анализ параметров каменного угля и топливных пеллет и рассмотрены преимущества и недостатки котельных на этих видах топлива. Рассматриваются варианты строительства новой котельной, перевод котельной на другой вид топлива, а также установка универсальных котлов. Приводится сравнение принципов работы котельной на разных видах топлива, а также подбор котельных агрегатов для них. Представлены результаты оценки эффективности работы котельной на каменном угле, топливных пеллетах и комбинированном топливе. Сравнение экономических показателей показало, что для получения наименьшей себестоимости 1 Гкал производства и передачи тепловой энергии эффективен перевод котельной на топливные пеллеты. Разработанные в ходе исследования технические и технологические решения могут быть использованы в работе угольных котельных Килемарского района Республики Марий Эл.

Ключевые слова: каменный уголь, топливные пеллеты, неликвидная древесина, пеллетная котельная, комбинированное топливо.

Цитирование: Григорьева Е. Н. Оценка эффективности перевода угольной котельной на топливные пеллеты из неликвидной древесины / Е. Н. Григорьева, Е. М. Онучин // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2025, 18(1). С. 44–56. EDN: ACSTFA

Введение

По данным на конец 2023 года, общий уровень газификации в России достиг 73 %. Это существенно выше показателей многих европейских стран, однако недостаточно для РФ. По этой причине котельные, работающие на каменном угле, получили широкое распространение. Размещение таких котельных в негазофицированных регионах, особенно соседствующих с угледобывающими, является экономически выгодным. В этом случае затраты на транспортировку топлива минимальны, а угольная котельная работает с высокой эффективностью.

На территории Республики Марий Эл нет больших месторождений каменного угля, однако большая часть территории занята лесами, в том числе хвойными. Также высока степень поражения древесины гнилью.

На рис. 1 показана диаграмма площади лесного массива, пораженного болезнями, в Республике Марий Эл [1].

Из пораженной гнилью древесины можно производить топливные пеллеты и в дальнейшем использовать их вместо каменного угля.

Таким образом, перевод котельных с каменного угля на топливные пеллеты из неликвидной древесины – это актуальная задача, имеющая научную и практическую значимость.

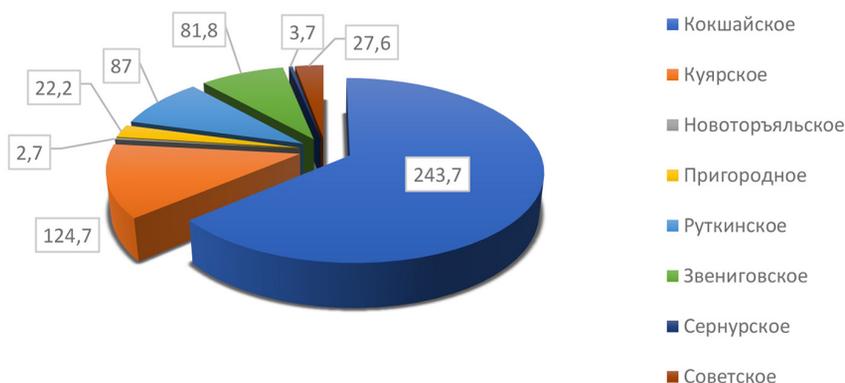


Рис. 1. Площадь лесного массива, пораженного болезнями на конец 2023 года

Fig. 1. Area of forest affected by diseases at the end of 2023

Вопросом эффективности модернизации котельных путем использования в качестве топлива пеллет занимаются Шамукаев С. Б., Вершинин В. П., Мохов В. В. [1], Иванова И. Ю., Губий Е. В., Майсюк Е. П. [2], Свиридов Д. А. [3], Истягина Е. Б., Молоков С. Е., Тырышкин Д. А. [4, 5], Старченко С. Ф. [6], Куницкая О. А., Григорьев И. В., Мануковский А. Ю. [7], Нестерова Д. [8], Абрамян В. Т. [9], Травникова Ю. А., Ершов С. В. [10], Тамби А. [11], Кубис В. А., Ушкина О. А., Путьмаков П. В. [12], Кашеев А. В. [13], Mack R., Schön C., Kuptz D. [14], Crema L., Alberti F., Bertaso A., Bozzoli A. [15], Teixeira J. C. F. [16], Marigo M., Zulli F., Bordignon S. [17], Ahn J., Kim J. J. [18].

Задачами исследования является анализ работы котельных на каменном угле и топливных пеллетах, рассмотрение вариантов перевода котельной из одного вида топлива на другой, а также оценка экономической эффективности перевода угольной котельной на топливные пеллеты из неликвидной древесины с учетом себестоимости 1 Гкал производства и передачи тепловой энергии.

1. Варианты перевода котельной с каменного угля на топливные пеллеты из неликвидной древесины

В табл. 1 приведен сравнительный анализ параметров каменного угля и топливных пеллет.

Таблица 1. Сравнительный анализ параметров каменного угля и топливных пеллет

Table 1. Comparative analysis of the parameters of coal and fuel pellets

	Уголь марки ДПК (Сибирь, Кузбасс)	Топливные пеллеты из неликвидной древесины
Стоимость	6900 руб./т	7000 руб./т
Зольность	20 %	2,421 %
Содержание влаги	8,7 %	9,072 %
Теплота сгорания	23 МДж/кг	20,874 МДж/кг
Выбросы SO ₂	11,4555 т/год	3,1446 т/год

Таблица 2. Преимущества и недостатки котельных на угле и пеллетах

Table 2. Advantages and disadvantages of coal and pellet boiler houses

Угольная котельная	Котельная на пеллетах
Преимущества	Преимущества
Автономность – независимость от магистральных энергоресурсов	Автономность – независимость от магистральных энергоресурсов
Доступность и невысокая стоимость угольного топлива	Доступность и сравнительно невысокая стоимость топливных пеллет
Возможность комплектования различными типами котлов	Не требуются значительные площади для хранения топливных пеллет
Эффективное сжигание низкокачественных углей	Высокий уровень экологичности топлива
Невысокая стоимость строительства котельной и низкие эксплуатационные расходы	Нет необходимости проведения очистки дымовых газов
Небольшое количество обслуживающего персонала	Небольшое количество обслуживающего персонала
Бесперебойная работа в сложных климатических условиях	Бесперебойная работа в сложных климатических условиях
Автоматизация контроля над процессом горения	Маленькая зольность топливных пеллет
	Автоматизация контроля над процессом горения
Недостатки	Недостатки
Невысокий уровень экологичности топлива	
Необходимость проведения очистки дымовых газов	
Необходимость ежедневной очистки топки	
Необходимость постоянного контроля над процессом горения	

В табл. 2 рассмотрены преимущества и недостатки котельных на угле и пеллетах.

Существуют следующие варианты перевода котельной с каменного угля на топливные пеллеты из неликвидной древесины:

- 1) строительство новой котельной;
- 2) перевод на другой вид топлива с заменой котла;
- 3) использование универсальных котлов.

Строительство новой котельной имеет следующие преимущества:

- более компактные размеры;
- современное оборудование;
- более высокий КПД по сравнению с существующей котельной;
- меньшее количество топлива на выработку 1 ккал тепловой энергии.

Недостаток:

- высокие капитальные затраты.

Перевод котельной на другой вид топлива с заменой котла и вспомогательного оборудования, а также использование универсальных котлов также имеет свои преимущества и недостатки. К первым можно отнести:

- меньшие капитальные затраты по сравнению со строительством новой котельной;

- более высокий КПД по сравнению с существующей котельной;
- меньшее количество топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии.

Универсальные котлы дают возможность работать как на каменном угле, так и на топливных пеллетах.

К недостаткам можно отнести большие затраты на обслуживание устаревшего оборудования.

Рассмотрим технологии выработки тепловой энергии при сжигании различного вида топлива:

1. Технология сжигание каменного угля (рис. 2)



Рис. 2. Технология сжигания каменного угля

Fig. 2. Coal burning technology

Принцип работы угольной котельной заключается в следующем:

- Подготовка угля: он хранится в отдельном месте и поступает в котел через систему конвейеров или ручных засыпок. Перед подачей в котел он может быть дроблен и очищен от пыли и других примесей.

- Сгорание угля: уголь сжигается в котле при высокой температуре и под высоким давлением. В результате сгорания угля выделяется тепловая энергия, которая передается воде в котле и превращается в пар.

- Обработка отходов: при сгорании угля выделяются различные отходы, такие как пепел и дымовые газы. Они обрабатываются в специальных отделениях, таких как пеплосборники и очистители дымовых газов, прежде чем они выбрасываются в атмосферу.

2. Технология сжигания топливных пеллет из неликвидной древесины (снижение тепловой мощности) (рис. 3)

Принцип работы пеллетной котельной заключается в следующем:

- Подготовка пеллет: для хранения мешков с гранулами по требованию техники пожарной безопасности должна быть оборудована отдельная площадь, которая хорошо проветривается, чтобы внутри не образовывалась плесень. Пеллеты дозированно подаются в горелочное устройство при помощи шнека.

- Сгорание пеллет: вместе с пеллетами в горелочное устройство при помощи вентилятора нагнетается воздух для горения. В горелке происходит активное горение пеллет.

- Обработка отходов: образующаяся при горении пеллет зола остаётся в горелке или окружающем горелку пространстве. Опционально на многих марках котлов устанавливается



Рис. 3. Технология сжигания топливных пеллет из неликвидной древесины

Fig. 3. Technology for burning fuel pellets from illiquid wood

механизированная очистка горелки. Это могут быть скребки или подвижные части, которые перемещают золу в специально отведённое место (зольный ящик). Как правило, дымоход чистят один или два раза в отопительный сезон.

3. Сжигание комбинированного топлива.

При использовании комбинированного топлива принцип работы аналогичен принципу работы угольной котельной.

При выборе оборудования были подобраны следующие котельные агрегаты с характеристиками, представленными в табл. 3:

Таблица 3. Характеристика котельных агрегатов

Table 3. Characteristics of boiler units

Тип котла	Пеллетный котел	Угольный котел	Комбинированный котел
Стоимость, руб.	362 400	276 200	359 900
Модель	Faci 105 кВт	KOLOSS AUTO DUO 45	ZOTA "Stahnov" Black 45
На площадь	более 400 м ²	450 м ²	до 450 кв.м.
Вид топлива	Пеллеты	Уголь	Уголь, пеллеты
Мощность	105 кВт	45 кВт	45 кВт
Время горения	до 5 дней	до 5 дней	до 8 дней
Объем бункера	400 л	420 л	540 л
КПД	92 %	86 %	90 %
Габариты (ШхГхВ, мм)	2150 x 2240 x 1410	1400x1010x1710	1340 x 1410 x 1780
Тип котла	пеллетный, автоматический	твердотопливный, автоматический	угольно-пеллетный, автоматический
Страна	Россия	Россия	Россия

- 1) угольный котел KOLOSS AUTO DUO 45 [19];
- 2) пеллетный котел Faci 105 кВт [20];
- 3) комбинированный котел ZOTA «Stahanov» 45 [21].

На системы газоочистки и золоудаления современных котельных приходится 40 % капитальных затрат и 35 % эксплуатационных расходов. В табл. 1 представлены результаты выбросов SO_2 . При работе котельной на топливных пеллетах из неликвидной древесины количество выбросов SO_2 почти в 3 раза меньше, чем при работе на каменном угле.

Расчет выбросов оксида серы SO_2 зависит от расхода натурального топлива B , содержание серы в топливе S , доли SO_2 , которая связывается летучей золой в котле η'_{SO_2} , доли SO_2 , которая улавливается в мокром золоуловителе вместе с твердыми частицами η''_{SO_2} и производится по формуле (1):

$$M_{SO_2} = 0.002BS * (1 - \eta'_{SO_2}) * (1 - \eta''_{SO_2}), \text{ Т/ГОД.} \quad (1)$$

На рис. 4 представлена диаграмма количества золы, образующейся при сжигании каменного угля и топливных пеллет из неликвидной древесины в течение отопительного периода.

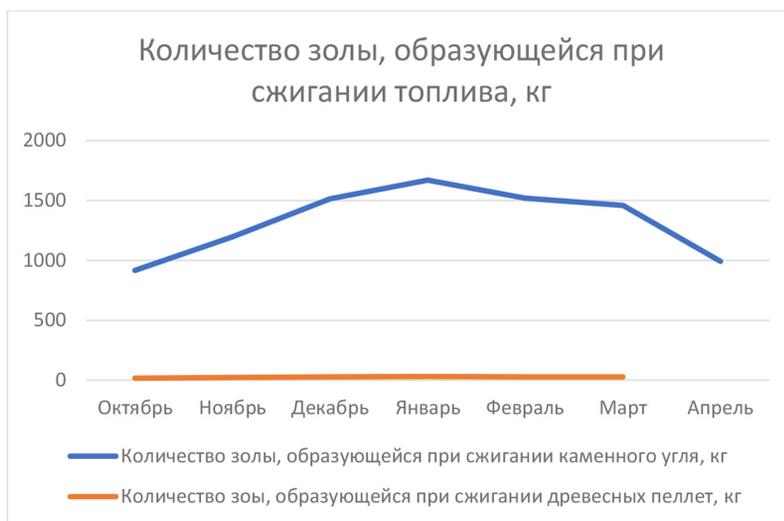


Рис. 4. Количество золы, образующейся при сжигании каменного угля и топливных пеллет из неликвидной древесины

Fig. 4. The amount of ash generated during the combustion of coal and fuel pellets from illiquid wood

С технической и экономической точек зрения наиболее значительным элементом системы контроля выбросов является установка для десульфуризации дымовых газов, часто называемая системой мокрого (скрубберного) пылеулавливания. Мокрый пылеуловитель (скруббер) задерживает окислы серы, являющиеся основным загрязняющим веществом, образующимся при сгорании угля.

2. Экономическая эффективность работы котельной

Важным показателем эффективности работы котельной являются затраты на выработку 1 Гкал тепловой энергии. При этом учитываются следующие расходы:

- 1) топливо;
- 2) капитальные вложения (оборудование);
- 3) обслуживание (ремонт, запчасти, заработная плата).

Результаты расчетов затрат на выработку 1 Гкал тепловой энергии по каждому варианту представлены в табл. 4.

Таблица 4. Расчет себестоимости 1 Гкал на производство и передачу тепловой энергии на 2024 год
Table 4. Calculation of the cost of 1 Gcal for the production and transmission of thermal energy for 2024

Показатели	Данные		
1. Выработка тепловой энергии, Гкал			
1.1. Выработано тепловой энергии, Гкал	68,72		
1.2. Собственные нужды котельной, Гкал	6,872		
1.3. Потери тепловой энергии, Гкал	6,872		
1.4. Отпущено тепловой энергии, Гкал	52,90		
2. Расходы на производство тепловой энергии			
	Строительство новой котельной	Перевод на другой вид топлива с заменой котла (использование универсальных котлов)	
– на каменном угле, тыс. руб.	2412,50	276, 20	
– на топливных пеллетах, тыс. руб.	1845,00	362, 40	
– на комбинированном топливе, тыс. руб.	2685, 00	359, 90	
2.1. Материалы на технологические цели, тыс. руб.	5,29		
2.2. Топливо на технологические цели			
Вид топлива	Стоимость, тыс.руб.	Тариф на топливо, руб/т	Объем топлива, тыс. т
– каменный уголь	86,36	6900,00	12,517
– топливные пеллеты	96,40	7000,00	13,771
– комбинированное топливо	96,91	6950,00	13,944
2.3. Электроэнергия, тыс. руб.			
Вид топлива	Количество электроэнергии, тыс. руб.	Потребление, тыс. кВт*час	Тариф на электроэнергию, руб./кВт.ч.
– каменный уголь	9,79	2,17	4,51
– топливные пеллеты	3,70	0,82	
– комбинированное топливо	8,70	1,93	

Таблица 4. Продолжение

Table 4. Continued

Показатели	Данные	
2.4. Оплата труда, тыс. руб.		
– на каменном угле (4 чел.)	1805,40	
– на топливных пеллетах (3 чел.)	1354,04	
– на комбинированном топливе (4 чел.)	1805,40	
2.5. Страховые взносы, тыс. руб.		
– на каменном угле	0,54	
– на топливных пеллетах	0,40	
– на комбинированном топливе	0,54	
2.6. Амортизация основных производственных фондов, тыс. руб.		
– на каменном угле	0,10	
– на топливных пеллетах	0,07	
– на комбинированном топливе	0,11	
2.7. Капитальный и текущий и ремонты, тыс. руб.		
– на каменном угле	0,54	
– на топливных пеллетах	0,35	
– на комбинированном топливе	0,59	
2.8. Цеховые расходы, тыс. руб.		
– на каменном угле	0,18	
– на топливных пеллетах	0,11	
– на комбинированном топливе	0,20	
2.9. Общие эксплуатационные расходы, тыс. руб.		
при строительстве новой котельной	0,23	
при переводе на другой вид топлива с заменой котла (использование универсальных котлов)	1,07	
2.10. Налоги (в том числе платежи за загрязнение окружающей среды), тыс. руб.		
– на каменном угле	0,54	
– на топливных пеллетах	0,05	
– на комбинированном топливе	0,38	
3. Внереализационные расходы	0,23	
3. Прибыль, тыс. руб.		
	Строительство новой котельной	Перевод на другой вид топлива с заменой котла (использование универсальных котлов)
– на каменном угле	162657,62	164785,46
– на топливных пеллетах	163665,83	165147,59
– на комбинированном топливе	162368,12	164692,38
4. Себестоимость 1 Гкал производства и передачи тепловой энергии, руб/Гкал		
	Строительство новой котельной	Перевод на другой вид топлива с заменой котла (использование универсальных котлов)
– на каменном угле	2455,83	1213,12
– на топливных пеллетах	1862,78	1000,29
– на комбинированном топливе	2614,67	1261,83

Затраты на производство и передачу тепловой энергии $Z_{\text{наПиП}_{T_{\text{Э}}}}$ равны сумме материальных затрат МЗ, оплате труда ОТ, страховых взносов СВ, амортизации А, затрат на техническое обслуживание и ремонт $Z_{\text{наТОиР}}$, общих цеховых расходов ОЦР, общих эксплуатационных расходов ОЭР, налогов Н и определяются по формуле (2):

$$Z_{\text{наПиП}_{T_{\text{Э}}}} = MZ + OT + CB + A + Z_{\text{наТОиР}} + OЦР + OЭР + H, \text{ тыс. руб.} \quad (2)$$

Общие затраты ОЗ равны сумме $Z_{\text{наПиП}_{T_{\text{Э}}}}$ и нереализационных расходов ВнР и определяются по формуле (3):

$$OЗ = Z_{\text{наПиП}_{T_{\text{Э}}}} + BнР, \text{ тыс. руб.} \quad (3)$$

Необходимая валовая выручка НВВ определяется по формуле (4) и зависит от прибыли П:

$$HBB = П + OЗ, \text{ тыс. руб.} \quad (4)$$

Расчет тарифа на производство и передачу теплоэнергии $T_{T_{\text{Э}}}$ определяется по формуле (5) и зависит от объема теплоэнергии, отпускаемой в сети Q_c :

$$T_{T_{\text{Э}}} = \frac{HBB}{Q_c}, \text{ руб/Гкал} \quad (5)$$

Расчет себестоимости 1 Гкал производства и передачи тепловой энергии (срок эксплуатации котлов – 25 лет) определяется по формуле (6) и зависит от объема производства тепловой энергии Q и $Z_{\text{наПиП}_{T_{\text{Э}}}}$:

$$\text{Себестоимость} = \frac{Z_{\text{наПиП}_{T_{\text{Э}}}}}{Q} / 25, \text{ руб/Гкал.} \quad (6)$$

Расчет рентабельности продаж определяется по формуле (7):

$$R = \frac{П}{HBB} * 100. \quad (7)$$

Заключение

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке технических и технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности работы котельной при переводе с каменного угля на топливные пеллеты из неликвидной древесины, уменьшении себестоимости 1 Гкал производства и передачи тепловой энергии.

Разработанные в ходе исследования технические и технологические решения могут быть использованы в работе угольных котельных Килемарского района Республики Марий Эл.

Таким образом, можно сделать вывод, что отопление топливными пеллетами из неликвидной древесины при сравнении себестоимости 1 Гкал производства и передачи тепловой энергии является наиболее экономически выгодным по сравнению с отопление каменным углем или комбинированным топливом. Это подтверждается расчетами с учетом затрат как при строительстве новой котельной, так и при переводе на другой вид топлива с заменой котла (использование универсальных котлов). Как показывают исследования, это связано в основном с большими затратами на системы газоочистки и золоудаления.

Список литературы/ References

[1] Шамукаев С. Б., Вершинин В. П., Мохов В. В. Повышение энергоэффективности эксплуатации твердотопливного котельного агрегата КВА-0,75 переводом на пеллетную подачу топлива в условиях предприятия ОАО «Туймазинский завод котельного оборудования»: Современные тенденции повышения энергоэффективности в инженерных сетях и ЖКХ: *материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках Весеннего форума строительства и ЖКХ, Уфа, 16–18 апреля 2018 года*. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2018, 78–86. [Shamukaev S. B., Vershinin V. P., Mohov V. V. Increase of energy efficiency of operation of solid-fuel boiler boiler boiler kva-0,75 by transfer to pellet fuel supply under the conditions of the enterprise jsc “Tuymazin factory of boiler equipment”. Modern changes in increasing energy efficiency in utility networks and housing and communal services: *materials of the All-Russian scientific and practical conference within the framework of the Spring Forum of construction and housing and communal services, Ufa, April 16–18, 2018*. Ufa, Bashkir State Agrarian University, 2018, 78–86 (In Rus.)]

[2] Иванова И. Ю., Губий Е. В., Майсюк Е. П. Сравнительная эффективность использования пеллет и сортированного угля в автоматизированных котельных (на примере центральной экологической зоны Байкальской природной территории): Глобальные вызовы и национальные экологические интересы: экономические и социальные аспекты: *Сборник материалов XVII международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики, Новосибирск, 03–08 июля 2023 года / под редакцией Т. О. Тагаевой, Л. К. Казанцевой*. Новосибирск: Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 2023, 244–251. [Ivanova I. Yu., Gubiy E. V., Maysyuk E. P. Comparative efficiency of the use of pellets and sorted coal in automated/or modern boiler houses (in example of the central ecological zone of the baikal natural territory). Global challenges and national environmental interests: economic and social aspects: *Collection of materials of the XVII international scientific and practical conference of the Russian Society of Ecological Economics, Novosibirsk, July 03–08, 2023*. Novosibirsk, Institute of Economics and Organization of Industrial Production SB RAS, 2023, 244–251 (In Rus.)]

[3] Свиридов Д. А. Сравнительный анализ топливных пеллет с традиционными видами топлива по характеристикам сгорания: Современное состояние и перспективы развития строительства, теплогасоснабжения и энергообеспечения: *материалы VI Международной научно-практической конференции, Саратов, 09–10 ноября 2017 года / Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова*. Саратов, Амирит, 2017, 255–258. [Sviridov D. A. Comparative analysis of fuel pellets with traditional fuels by combustion characteristics. Current state and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: *materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Saratov, November 09–10, 2017*. Saratov State Agrarian University named after. N. I. Vavilova. Saratov, Amirit, 2017, 255–258 (In Rus.)]

[4] Истягина Е. Б., Молоков С. Е. Технологический процесс перевода котельной на альтернативное топливо. *Образовательные ресурсы и технологии*, 2016, 2(14), 220–226 [Istyagina E. B., Molokov S. E. Technological process of the boiler-room change-over to alternative fuel. *Educational resources and technologies*, 2016, 2(14), 220–226 (In Rus.)]

[5] Молоков С. Е., Тырышкин Д. А. Оценка эффективности модернизации котельной при переводе на альтернативное топливо: Современные тенденции развития науки и производ-

ства: *IV Международная научно-практическая конференция: в 2 томах, Кемерово, 27–28 октября 2016 года. Том II*. Кемерово, Общество с ограниченной ответственностью «Западно-Сибирский научный центр», 2016, 366–370. [Molokov S. E., Tyryshkin D. A. Application of information technology to solving the problem of decreasing energy resources. Modern trends in the development of science and production: *IV International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Kemerovo, October 27–28, 2016. Volume II*. Kemerovo, Limited Liability Company “West Siberian Scientific Center”, 2016, 366–370 (In Rus.)]

[6] Старченко С. Ф. *Теплогенераторы для автономного теплоснабжения на топливных древесных гранулах: Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года*. Белгород, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2020, 1306–1310. [Starchenko S. F. Heat generators for autonomous heat supply using fuel wood pellets. *International scientific and technical conference of young scientists, Belgorod, May 25–27, 2020*. Belgorod, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhova, 2020, 1306–1310 (In Rus.)]

[7] Куницкая О. А., Григорьев И. В., Мануковский А. Ю. Технико-экономическое сравнение производства топливных брикетов и пеллет из древесины. *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2020, 57, 40–43 [Kunitskaya O. A., Grigorev I. V., Manukovsky A. Y. Technical and economic comparison of fuel briquettes and wood pellets production. *Current problems of the forest complex*, 2020, 57, 40–43 (In Rus.)]

[8] Нестерова Д. Биотопливо: что ждет рынок пеллет? *Наука для энергетики – 2023: Сборник избранных статей газеты «Энергетика и промышленность России»*. Санкт-Петербург, Издательский дом «Реальная экономика», 2023. 81–83 [Nesterova D. Biofuel: what awaits the pellet market? *Science for Energy – 2023. Collection of selected articles from the newspaper “Energy and Industry of Russia”*. St. Petersburg: Publishing House “Real Economy”, 2023, 81–83 (In Rus.)]

[9] Абрамян В. Т. *Котел на пеллетах для автономной системы отопления: Сборник материалов Всероссийской молодежной научно-практической школы «ЭНЕРГОСТАРТ»: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Институт энергетики КузГТУ; Кузбасский филиал ООО «Сибирская генерирующая компания», Кемерово, 11–25 июля 2016 года*. Кемерово, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2016, 1. [Abrahamyan V. T. Pellet boiler for an autonomous heating system. *Collection of materials of the All-Russian Youth Scientific and practical school “ENERGOSTART”: Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Institute of Power Engineering of KuzSTU; Kuzbass branch of Siberian Generating Company LLC, Kemerovo, July 11–25, 2016*. Kemerovo, Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, 2016, 1 (In Rus.)]

[10] Травникова Ю. А., Ершов С. В. Тенденции производства и использования биотоплива в Архангельской области: *Современные аспекты экономики*, 2014, 6(202), 34–40 [Travnikova Yu. A., Ershov S. V. Trends in the production and use of biofuels in the Arkhangelsk region. *Modern aspects of economics*, 2014, 6(202), 34–40 (In Rus.)]

[11] Тамби А. Совмещение технологий производства биотоплива на предприятиях Иркутской области: *Бюллетень Ассоциации ЛЕСТЕХ*, 2022, 1(7), 22–25 [Tambi A. Combination of biofuel production technologies at enterprises of the Irkutsk region. *Bulletin of the LESTECH Association*, 2022, 1(7), 22–25 (In Rus.)]

[12] Кубис В. А., Ушкина О. А., Путьмаков П. В. *Перспективы использования топливных пеллет: Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 27–28 апреля 2016 года*. Пенза, Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2016, 163–167. [Kubis V. A., Ushkina O. A., Putmakov P. V. Prospects for the use of fuel pellets. *Problems of energy saving in industrial and housing and communal services: collection of proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference, Penza, April 27–28, 2016*. Penza, Autonomous non-profit scientific and educational organization “Privolzhsky House of Knowledge”, 2016, 163–167 (In Rus.)]

[13] Кашеев А. В. Применение пеллетных котлов в качестве автономного источника теплоснабжения: *Аспирант*, 2021, 5(62), 115–119 [Kashcheev A. V. Application of pellet boilers as an autonomous source of heat supply. *Postgraduate student*, 2021, 5(62), 115–119 (In Rus.)]

[14] Mack R., Schön C., Kuptz D. [et al.] Influence of pellet length, content of fines, and moisture content on emission behavior of wood pellets in a residential pellet stove and pellet boiler. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2022.

[15] Crema L., Alberti F., Bertaso A., Bozzoli A. Development of a pellet boiler with Stirling engine for m-CHP domestic application. *Energy, Sustainability and Society*, 2011, 1(1), 1–11.

[16] Teixeira J.C.F., Vasconcelos B.N., Ferreira M.E.C Simulation of a small scale pellet boiler. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings*. Lake Buena Vista, FL, 2010, 169–176.

[17] Marigo M., Zulli F., Bordignon S. [et al.] Energy analysis of a wood or pellet stove in a single-family house equipped with gas boiler and radiators. *Building Simulation*, 2022, 15(9), 1577–1593.

[18] Ahn J., Kim J.J. Combustion and heat transfer characteristics inside the combustion chamber of a wood pellet boiler. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2014, 28(2), 789–795.

[19] Официальный сайт завода промышленных котлов «Колосс» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://yoshkar-ola.kotel-koloss.ru/auto_duo.html – Заглавие с экрана. [Official website of the Colossus industrial boiler plant Russia [Electronic resource] – Access: https://yoshkar-ola.kotel-koloss.ru/auto_duo.html

[20] Официальный сайт завода промышленных котлов «Faci». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://facirus.ru/catalog/pelletnye-kotly.html> – Заглавие с экрана. [Official website of the Faci industrial boiler plant Russia [Electronic resource] – Access: <https://facirus.ru/catalog/pelletnye-kotly.html>

[21] Официальный сайт завода промышленных котлов «Zota». – https://zota.ru/catalog/avto_kotly/zota_stahanov21/#catalog-item-content__specs.html – Заглавие с экрана. [Official website of the Zota industrial boiler plant Russia [Electronic resource] – Access: https://zota.ru/catalog/avto_kotly/zota_stahanov21/#catalog-item-content__specs.html