Научная статья
УДК 674.81
DOI: 10.37482/0536-1036-2026-5-141-151

Технология промышленного производства брикетов из кородревесных отходов осины

Д.В. Бастриков*[1]*, канд. техн. наук; ResearcherID: PKS-0301-2026,
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-8192-2299
О.А. Полянская*[2]*, канд. экон. наук, доц.; ResearcherID: AAH-3386-2021,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5377-1891
А.А. Тамби*[3]✉*, д-р техн. наук, доц.; ResearcherID: J-9614-2017,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4099-3409
[1]Ассоциация производителей машин и оборудования лесопромышленного комплекса «Лестех», г. Всеволожск, Россия; dmitry.bastrikov@alestech.ru
[2]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия; polyanskaya_78@mail.ru
[3]Санкт-Петербургский филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия; a_tambi@mail.ru✉

Поступила в редакцию 21.02.26 / Одобрена после рецензирования 18.04.26 / Принята к печати 20.04.26

Аннотация. Исследование посвящено разработке основных параметров технологии переработки кородревесных отходов древесины осины, образующихся при барабанной окорке, в востребованную рынком продукцию – топливные брикеты. Объектом исследования являлись процессы производства топливных брикетов и баланс сырья при производстве топливных брикетов из отходов окорки круглых лесоматериалов из древесины осины. Предметом – брикеты из кородревесных отходов осины. Экспериментальное исследование проведено в условиях действующих производств на промышленном оборудовании. Критерием выбора параметров технологического режима стали требования нормативных документов, регламентирующих свойства древесного биотоплива. Оценка свойств изготовленных брикетов проведена на оборудовании аккредитованной лаборатории. В качестве контрольных видов продукции были изготовлены стандартные брикеты из шлифовальной пыли, образующейся при обработке березовой фанеры, а также брикеты, состоящие на 50 % из кородревесных отходов осины. На основании литературных источников определены требования к фракционному составу древесных частиц в зависимости от применяемой технологии брикетирования. Данные, полученные в результате анализа литературных источников, подтверждены практическими испытаниями. Экспериментально установлено влияние удельного давления прессования кородревесных отходов осины на плотность получаемых брикетов. Определено минимальное давление прессования, обеспечивающее выход брикетов с заданной нормативным документом плотностью. Составлен баланс сырья при производстве топливных брикетов из отходов окорки круглых лесоматериалов и определены основные показатели работы участка по производству брикетов из кородревесных отходов осины. Установлены высшая и низшая теплота сгорания, а также зольность и другие характеристики брикетов из кородревесных отходов осины. В результате разработан новый вид топливного брикета из кородревесных отходов осины и определены его свойства. Область применения итогов научного исследования – процессы эффективной утилизации кородревесных отходов с получением товарной продукции в виде биотоплива.

© Бастриков Д.В., Полянская О.А., Тамби А.А., 2026
Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Ключевые слова: кородревесные отходы, кородревесные отходы осины, производство твердого биотоплива, древесные брикеты, переработка коры

Для цитирования: Бастриков Д.В., Полянская О.А., Тамби А.А. Технология промышленного производства брикетов из кородревесных отходов осины // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 5. С. 141–151. https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-5-141-151

Original article

Industrial Production Procedure of Briquettes from Aspen Bark Waste

Dmitry V. Bastrykov*[1]*, *Candidate of Engineering;* ResearcherID: PKS-0301-2026, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-8192-2299
Olga A. Polyanskaya*[2]*, *Candidate of Economics, Assoc. Prof.;* ResearcherID: AAH-3386-2021, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5377-1891
Aleksander A. Tambi*[3]✉*, *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.;* ResearcherID: J-9614-2017, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4099-3409
[1]Association of Manufacturers of Machinery and Equipment for the Timber Industry "Lestech", Vsevolozhsk, Russia; dmitry.bastrikov@alestech.ru
[2]Saint Petersburg State Forest Technical University, Saint Petersburg, Russia; polyanskaya_78@mail.ru
[3]Financial University under the Government of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; a_tambi@mail.ru✉

Received on February 21, 2026 / Approved after reviewing on April 18, 2026 / Accepted on April 20, 2026

Abstract. This research focuses on developing the key parameters for aspen bark wood waste (generated during drum debarking) conversion into fuel briquettes, which are in demand on the market. The research object was the fuel briquettes production and the raw materials balance in the production of fuel briquettes from aspen round timber bark waste. The research subject was briquettes made of aspen bark waste. The experimental studies were carried out in actual production conditions with industrial equipment. The criteria for selecting process parameters were the requirements of regulatory documents governing the wood biofuel properties. The manufactured briquettes were tested for their properties by the accredited laboratory equipment. Standard briquettes made of grinding dust produced during the birch plywood processing, as well as briquettes consisting of 50 % aspen bark waste, were manufactured as control products. The requirements for the particle size distribution of wood particles have been determined (based on the literature references) depending on the briquetting technology. The data obtained from the literature analysis have been confirmed by empirical testing. Experiments have shown the effect of the specific molding pressure of aspen bark waste on the resulting briquettes density. The minimum molding pressure required to produce briquettes with the density specified in the regulatory document has been determined. A balance of raw materials has been drawn up to produce fuel briquettes from round timber bark waste, and the main performance indicators to produce briquettes from aspen bark waste have been determined. The higher and lower heating values, as well as the ash content and other properties of briquettes made of aspen bark waste, have been determined. As a result, we have developed a new type of fuel briquette made of aspen bark waste, and determined its properties. The scope of scientific research findings is the effective utilization of bark waste to produce marketable biofuel.

This is an open access article distributed under the CC BY 4.0 license

Keywords: bark waste, aspen bark waste, solid biofuel production, wood briquettes, bark recycling

For citation: Bastrikov D.V., Polyanskaya O.A., Tambi A.A. Industrial Production Procedure of Briquettes from Aspen Bark Waste. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 5, pp. 141–151. (In Russ.). https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-5-141-151

Введение

На целлюлозно-бумажных предприятиях, заводах по выпуску композиционных плитных материалов из измельченной древесины, а также на спичечных фабриках широко распространено использование в производственных процессах древесины осины. Поскольку указанные производства являются материалоемкими, а древесина подвергается измельчению без учета ее местоположения в стволе дерева – окорку круглых лесоматериалов перед механической или химической обработкой выполняют в окорочных барабанах. В результате обеспечивается быстрое проведение операции окорки древесины, с допустимым качеством окорки круглых лесоматериалов. Основные породы древесины характеризуются следующими относительными объемами коры в стволе [10, 13]:

Лиственница…….22–25 %
Сосна…….10–16 %
Ель……...…6–13 %
Береза……13–15 %
Осина…….11–20 %

Главным недостатком барабанных окорочных станков является то, что в процессе окаривания формируется большое количество древесных отходов различной фракции, включающих кору и кусковые древесные отходы стволовой древесины различных размеров.

Тестовые исследования на одном из российских целлюлозно-бумажных комбинатов показали, что в составе кородревесных отходов древесины, удаляемой с поверхности сортиментов вместе с корой, – около 40 %.

Таким образом, при окорке 10 условных м^3 круглых лесоматериалов из древесины осины и среднем объеме коры 15 % на предприятии формируется:

9,4 м^3 окоренной древесины;

2,1 м^3 кородревесных отходов, включающих смесь из 1,5 м^3 коры и 0,6 м^3 древесины, удаляемой с поверхности круглых лесоматериалов при окорке в окорочных барабанах.

То есть объем получаемых на участке окорки кородревесных отходов составляет около 21 % от фактически принятого предприятием объема круглых лесоматериалов осины.

Кородревесные отходы обычно используются предприятиями для выработки тепловой энергии и когенерации, но крупные предприятия зачастую вырабатывают отходов значительно больше, чем потребляют в качестве топлива для выработки энергии, что обусловливает необходимость разработки новых технологий экономически эффективного использования отходов, например, в производстве биотоплива.

В настоящее время известны технологии брикетирования древесины осины [11, 13], а также коры древесины различных пород [9, 10, 15]. При этом в литературных источниках отсутствует информация о том, возможно ли изготовить топливные брикеты из кородревесных отходов осины, а также о параметрах подобных брикетов.

Целью работы является определение основных параметров технологии производства топливных брикетов из кородревесных отходов осины.

Задачи исследования:

– обоснование параметров технологии производства топливных брикетов из кородревесных отходов осины;

– изготовление тестовой партии брикетов;

– оценка свойств нового вида топлива;

– исследование параметров работы участка по производству топливных брикетов из кородревесных отходов осины для условного объема сырья, что позволит масштабировать результаты исследования на участки с другой производительностью.

Объектом исследования являлись процессы производства топливных брикетов и баланс сырья при производстве топливных брикетов из отходов окорки круглых лесоматериалов из древесины осины. В качестве предмета исследования выступали брикеты из кородревесных отходов осины. *Методология:* эксперименты по изготовлению топливных брикетов проведены в производственных условиях на отраслевых деревообрабатывающих предприятиях; оценка свойств брикетов выполнена в аккредитованной лаборатории.

Результаты исследования и их обсуждение

Кора и кородревесные отходы как материал для измельчения имеют существенные недостатки: повышенное содержание минеральных включений, высокую неоднородность по исходному фракционному составу, посторонние включения. Кроме того, при измельчении указанного сырья возможны абразивный износ органов измельчения, перегрузка привода измельчителя по причине забивания калибровочного сита, различные повреждения оборудования.

Сырье для производства брикетов получено на участке барабанной окорки древесины осины. Частицы древесины и коры имели относительную влажность 45 %. Размеры частиц:

минимальные – 3 × 5 × 10 мм;

максимальные – 20 × 30 × 400 мм (рис. 1).

Размеры древесных частиц при барабанной окорке формируются во многом случайным образом и зависят от качества исходного сырья, его влажности, а также длительности и условий хранения.

Поскольку в коре древесины присутствует много минеральных включений, такое сырье является непригодным для производств пеллет. Минеральные включения приводят к быстрому износу фильер прессов, что становится причиной простоев оборудования и высоких эксплуатационных затрат. Для получения биотоплива из кородревесных отходов высокой плотности 900–1000 кг/м^3 является рациональным применение прессов для брикетирования ударного типа [6, 8, 16, 19] либо гидравлических прессов.



Рис. 1. Кородревесные отходы, получаемые в процессе барабанной окорки круглых лесоматериалов из древесины осины

Fig. 1. Bark waste derived from the drum barking of aspen round timber

Несмотря на то, что стоимость производства брикетов из кородревесных отходов с большим количеством минеральных включений в гидравлических прессах выше, чем на оборудовании ударного типа, за счет снижения ресурса оборудования прессовой зоны – для проведения исследования выбраны брикеты типа RUF, изготавливаемые на гидравлических прессах. Выбор этого типа оборудования обусловлен большей распространенностью таких прессов, а также высокой востребованностью подобных брикетов на внутреннем рынке.

Получаемые в окорочных барабанах древесные отходы по размерным характеристикам непригодны для брикетирования в ударных прессах, поскольку размеры древесных фракций для использования прессов этого типа должны находиться в диапазоне 2–5 мм по толщине, ширине и длине, а также на гидравлических прессах, где максимальный размер частиц – 20 мм.

Для измельчения кородревесных отходов до заданной фракции [1–6, 20, 22] использовали роторную рубительную машину производства компании «Поли-НОМ» (рис. 2).



Рис. 2. Рубительная машина для измельчения коры «Поли-НОМ» ДК6Х12 и получаемая при измельчении кородревесных отходов фракция

Fig. 2. Poly-NOM DK6X12 bark shredder and the bark waste fraction after grinding

При измельчении кородревесных отходов до 80 % получаемых фракций измельченной древесины имеет размер 2–3 × 2–3 × 4–5 мм, что позволяет обеспечить их брикетирование гидравлическим или ударным способом.

Оставшуюся часть древесных частиц, размером до 10×10×40 мм, после просеивания направляли на измельчитель молоткового типа МД30, обеспечивая получение из этих частиц древесной фракции размером 2–3 × 2–3 × 3–5 мм.

Готовые древесные частицы высушивали до относительной влажности 4–8 % – что соответствует уровню М10 по ГОСТ 33103.1–2017 (ISO 17225–1:2014), а также согласуется с рекомендациями [6, 14, 15, 23] – в сушильном барабане российского производства, после чего изготавливали топливные брикеты на гидравлическом прессе RUF R6.

Режимы прессования подбирались таким образом, чтобы обеспечить соответствие изготавливаемых топливных брикетов требованиям [6–8, 16].

Для достижения плотности брикета 1000 кг/м³ – минимально допустимой согласно DE1.0 по [10, 12, 17, 18, 21–23] – в соответствии с полученным графиком, приведенным на рис. 3, удельное давление прессования должно составлять не менее 1045 кг/см².

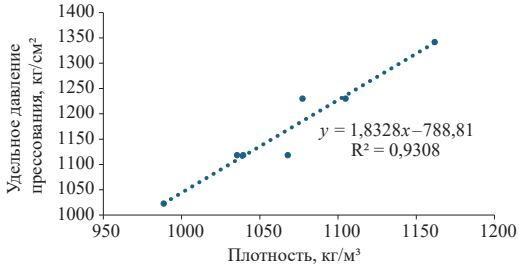


Рис. 3. Влияние удельного давления прессования кородревесных отходов осины на плотность получаемых брикетов

Fig. 3. Effect of specific molding pressure of aspen bark waste on the resulting briquettes density

Средняя насыпная плотность кородревесных частиц осины при проведении испытаний составляла 211 кг/м³.

Параллельно были изготовлены еще две партии брикетов, испытания которых позволили сравнить новый вид биотоплива из кородревесных отходов осины с другими видами биотоплива из отходов, характерных для плитных предприятий, обрабатывающих лиственные породы древесины. Вторая партия брикетов произведена из смеси кородревесных отходов осины с древесной пылью, полученной при шлифовании березовой фанеры в соотношении 50/50, а третья – полностью из древесной пыли древесины березы.

Брикеты второй партии служили для проверки гипотезы, какой из брикетов будет обладать лучшими характеристиками, а также для оценки возможности улучшения качества брикета из кородревесных отходов за счет добавления пыли.

Изготовленные брикеты (рис. 4) имели стандартные размеры 60×150××120 мм.



а *б* *в*

Рис. 4. Образцы полученной готовой продукции: *а* – кородревесные отходы осины; *б* – смесь в соотношении 50/50 кородревесных отходов осины и шлифовальной пыли, полученной при обработке березовой фанеры; *в* – шлифовальная пыль

Fig. 4. Samples of the finished product: *а* – aspen wood waste; *б* – 50/50 mixture of aspen wood waste and sanding dust obtained from processing birch plywood; *в* – sanding dust

Оценка свойств брикетов проведена в аккредитованной лаборатории Incolab, данные из сертификатов испытаний представлены в таблице.

Результаты оценки свойств брикетов
The Results of the Analysis of the Briquettes Properties

Показатель	Брикет из кородревесных отходов осины	Брикет из кородревесных отходов осины и шлифовальной пыли	Брикет из шлифовальной пыли
Влажность, %	7,0	5,5	4,2
Зольность на сухое состояние, %	8,0	6,1	0,4
Зольность на рабочее состояние, %	7,4	5,7	0,3
Выход летучих веществ на сухое состояние, %	75,5	78,7	87,7
Выход летучих веществ на рабочее состояние, %	70,3	74,4	84,0
Высшая теплота сгорания на сухое состояние, ккал/кг	4747	4654	4683
Высшая теплота сгорания на рабочее состояние, ккал/кг	4417	4398	4487
Низшая теплота сгорания на рабочее состояние, ккал/кг	4107	4087	4156
Сера общая на сухое состояние, %	0,04	0,04	0,01
Сера общая на рабочее состояние, %	0,04	0,04	0,01
Плотность, кг/м^3	1000	910	900

Брикеты из кородревесных отходов обладают низшей теплотой сгорания сопоставимой с брикетами из шлифовальной пыли. Небольшие отличия, на уровне 1,2 % могут быть объяснены различиями во влажности древесных частиц, а также разным уровнем содержания различных минеральных веществ, что фиксируется различиями в уровне зольности. По параметру выделения теплоты все три вида брикетов находятся на сопоставимом высоком уровне.

Использование кородревесных отходов в качестве сырья обусловливает увеличение уровня серы в готовом продукте, а также уровня золы, достигающего 7,4 %. Высокую зольность брикетов следует учитывать при обосновании технологии их сжигания, а также предусмотреть увеличение объема удаляемой золы из соответствующих приемников.

Вместе с тем брикеты из кородревесных отходов при формировании брикетов одинаковых размеров обладают существенно большей плотностью, что может быть объяснено превосходящей влажностью прессуемых древесных частиц, оказывающей влияние на реологические свойства древесины, позволяя добиться большей степени сжатия древесины. Большая плотность брикетов повышает эффективность транспортировки готовой продукции.

Основные показатели работы участка по выпуску брикетов из кородревесных отходов осины в пересчете на условные 100 м^3 входящего сырья следующие:

Объем перерабатываемого сырья (кора находится вне баланса древесины при учете круглых лесоматериалов) ..... 100 м^3

Объем окоренной древесины, направляемой на производство основного вида продукции..... 94 м³
Объем получаемых кородревесных отходов ..... 21 м³
Потери кородревесных отходов на выработку тепловой энергии для сушки оставшегося объема отходов ..... 6,3 м³
Потери кородревесных отходов на усушку при сушке до влажности 7,0 % ..... 11,5 % /1,7 м³
Объем кородревесных отходов для брикетирования..... 13 м³
Средняя масса 1 м³ кородревесных отходов при влажности 7 % [9].....560 кг
Потенциальный объем брикетов ..... 7,28 т

Выводы

1. Разработан новый вид топливного древесного брикета – топливный брикет из кородревесных отходов осины и определены его свойства.

2. Путем экспериментального исследования установлены основные параметры технологии производства брикетов из кородревесных отходов осины:

размеры частиц для брикетирования в гидравлическом прессе составляют 2–5 × 2–5 × 20 мм;

влажность частиц – 7±3 %;

удельное давление прессования – не менее 1045 кг/см².

3. Определен фракционный состав древесных частиц на всех этапах производства древесных брикетов и обоснован перечень оборудования для достижения необходимых степеней измельчения кородревесных отходов на всех этапах.

4. Рассчитаны основные показатели работы участка по производству брикетов из кородревесных отходов осины, которых в виде товарной продукции может быть получено 7,28 т при переработке условных 100 м³ входящего сырья, что позволяет масштабировать полученные данные для производств другой мощности.

5. Установлено, что по одному из основных параметров эффективности использования топлива – низшей теплоте сгорания новый вид брикета из кородревесных отходов осины всего на 1,2 % уступает распространенным брикетам из шлифовальной пыли, выпускаемым фанерными предприятиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Бастриков Д.В., Власов Ю.Н., Ильюшенко Д.А., Кучер С.В.* Экспериментальные исследования энергоемкости дробления отходов окорки сосны // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2017. № 219. С. 193–205.

Bastrikov D.V., Vlasov Yu.N., Iljushenko D.A., Kucher S.V. Experimental Studies of Energy Consumption of Pine Debarking Wastes Shredding. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2017, no. 219, pp. 193–205. (In Russ.).
https://doi.org/10.21266/2079-4304.2017.219.193-205

2. *Бастриков Д.В., Власов Ю.Н., Кучер С.В.* Исследование энергоемкости измельчения отходов окорки установкой с ножевым рабочим органом // Лесотехн. журн. 2018. Т. 8, № 1(29). С. 120–128.

Bastrikov D.V., Vlasov Yu.N., Kucher S.V. Investigation of the Energy Consumption of Barking Waste Grinding by Installation with a Knife Working Body. *Forestry Engineering Journal*, 2018, vol. 8, no. 1(29), pp. 120–128. (In Russ.).
https://doi.org/10.12737/article_5ab0dfc1384de4.17339793

3. *Бастриков Д.В., Власов Ю.Н., Кучер С.В., Куницкая Д.Е.* Экспериментальные исследования энергоемкости дробления отходов окорки ели // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2016. № 217. С. 81–90.

Bastrikov D.V., Vlasov Yu.N., Kucher S.V., Kunitskaya D.E. Experimental Studies of Energy Consumption of Debarking Wastes Shredding. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2016, no. 217, pp. 81–90. (In Russ.).
https://doi.org/10.21266/2079-4304.2016.217.81-90

4. *Бастриков Д.В., Куницкая О.А., Григорьев М.Ф.* Исследование процесса измельчения отходов окорки установкой с ножевым рабочим органом // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 3. С. 21–25.

Bastrikov D.V., Kunitskaya O.A., Grigoryev M.F. Study of Debarking-Waste Shredding by Knifed Shredding Machine. *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya* = Repair, Reconditioning, Modernization, 2019, no. 3, pp. 21–25. (In Russ.).
https://doi.org/10.31044/1684-2561-2019-0-3-21-25

5. *Власов Ю.Н.* Экспериментальные исследования измельчения отходов окорки березы // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 1(41). С. 96–100.

Vlasov Yu.N. Experimental Studies of Birch Barking Waste Shredding. *Systems. Methods. Technologies*, 2019, no. 1(41), pp. 96–100. (In Russ.).
https://doi.org/10.18324/2077-5415-2019-1-96-100

6. *Гомонай М.В.* Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: моногр. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 68 с.

Gomonai M.V. *Production of Fuel Briquettes. Wood Raw Materials, Equipment, Technologies, and Operation Modes*: Monograph. Moscow, MGUL Publ., 2006. 68 p. (In Russ.).

7. *Коршак А.В.* Обоснование технологии производства древесных брикетов на прессовом оборудовании ударного типа: автореф. дис. … канд. техн. наук. СПб., 2011. 20 с.

Korshak A.V. *Technology Substantiation for Wood Briquettes Production Using Impact-Type Pressure Equipment*: Cand. Engin. Sci, Diss, Abs. Saint Petersburg, 2011. 20 p. (In Russ.).

8. *Куницкая О.А., Хитров Е.Г., Илюшенко Д.А.* Уплотнение древесных материалов под действием ударной нагрузки // Науч. обозрение. 2012. № 4. С. 121–127.

Kunitskaya O.A., Khitrov E.G., Ilyushenko D.A. Compaction of Timber under Impact Load. *Science Review*, 2012, no. 4, pp. 121–127. (In Russ.).

9. *Малыгин П.В., Любов В.К.* Характеристика топливных гранул из различных видов древесных пород // Химия твердого топлива. 2015. № 5. С. 61–69.

Malygin P.V., Lyubov V.K. Characteristics of Fuel Granules from Different Wood Species. *Khimiya tverdogo topliva* = Solid Fuel Chemistry, 2015, no. 5, pp. 61–69. (In Russ.).
https://doi.org/10.7868/S0023117715050084

10. *Полубояринов О.И., Сорокин А.М.* Физические свойства осиновой коры и ее компонентов // Изв. вузов. Лесн. журн. 1992. № 3. С. 67–69.

Poluboyarinov O.I., Sorokin A.M. Physical Properties of Aspen Bark and Its Components. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 1992, no. 3, pp. 67–69. (In Russ.).

11. *Помигуев А.В., Куницкая О.А., Григорьев И.В., Тихонов Е.А., Иванов В.А.* Обоснование технологии производства и экспериментальные исследования свойств топливных брикетов, предназначенных для использования в условиях лесных терминалов // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 1(49). С. 59–66.

Pomiguev A.V., Kunitskaya O.A., Grigorjev I.V., Tikhonov E.A., Ivanov V.A. Justification of the Production Technology and Experimental Studies of the Properties of

Fuel Briquettes Intended for Use in the Conditions of Forest Terminals. *Systems. Methods. Technologies*, 2021, no. 1(49), pp. 59–66. (In Russ.).
https://doi.org/10.18324/2077-5415-2021-1-59-66

12. *Резников С.Н., Павлюкова А.В., Тищенко И.А.* Лесопромышленный комплекс России в условиях санкций: внутренний рынок как фактор балансировки экспортных товаропотоков лесной и целлюлозно-бумажной продукции // Экономика устойчивого развития. 2024. № 3(59). С. 235–239.

Reznikov S.N., Pavlyukova A.V., Tishchenko I.A. The Russian Forest Industry Complex under Sanctions: The Domestic Market as a Factor in Balancing Export Commodity Flows of Forest and Pulp and Paper Products. *Economics of Sustainable Development*, 2024, no. 3(59), pp. 235–239. (In Russ.).

13. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.

Ugolev B.N. *Wood Science with the Basics of Forest Commodity Science*. Moscow, MGUL Publ., 2001. 340 p. (In Russ.).

14. *Чибирев О.В., Власов Ю.Н., Бастриков Д.В.* Аппроксимированные зависимости для расчета теплотворной способности коры по абсолютной влажности // Актуальн. направления науч. исследований XXI в.: теория и практика. 2016. Т. 4, № 1(21). С. 108–111.

Chibirev O.V., Vlasov Yu.N., Bastrikov D.V. Dependencies to Evaluate Heat of Combustion of Bark Regarding Its Absolute Humidity. *Aktual'nye napravlenia naucnyh issledovanij XXI veka: teoria i praktika*, 2016, vol. 4, no. 1(21), pp. 108–111. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/19267

15. *Чибирев О.В., Кацадзе В.А., Власов Ю.Н., Кучер С.В.* Топливные брикеты из отходов лесопереработки // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы Второй Междунар. науч.-техн. конф. СПб.: С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С.М. Кирова, 2017. С. 46–48.

Chibirev O.V., Katsadze V.A., Vlasov Yu.N., Kucher S.V. Fuel Briquettes from Wood Processing Waste. *Forests of Russia: Policy, Industry, Science, and Education: Proceedings of the 2nd International Scientific and Technical Conference*. Saint Petersburg, SPbSFTU Publ., 2017, pp. 46–48. (In Russ.).

16. *Чибирев О.В., Кацадзе В.А., Власов Ю.Н., Кучер С.В.* Современное прессовое оборудование для брикетирования древесных отходов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы Второй Междунар. науч.-техн. конф. СПб.: С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С.М. Кирова, 2017. С. 48–51.

Chibirev O.V., Katsadze V.A., Vlasov Yu.N., Kucher S.V. Modern Press Equipment for Wood Waste Briquetting. *Forests of Russia: Policy, Industry, Science, and Education: Proceedings of the 2nd International Scientific and Technical Conference*. Saint Petersburg, SPbSFTU Publ., 2017, pp. 48–51. (In Russ.).

17. *Чибирев О.В., Куницкая О.А., Григорьев М.Ф.* Расчет потребного давления прессования опилок при формировании брикета // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 2. С. 22–25.

Chibirev O.V., Kunitskaya O.A., Grigorev M.F. Calculation of Needed Pressure for Sawdust Pressing during Briquetting. *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya* = Repair, Reconditioning, Modernization, 2019, no. 2, pp. 22–25. (In Russ.).
https://doi.org/10.31044/1684-2561-2019-0-2-22-25

18. *DIN 51731-1996. Testing of Solid Fuels – Compressed Untreated Wood, Requirements and Testing (SN 166000)*. Winterthur, Schweizerische Normen-Vereinigung, 2001. 4 p. (In German).

19. Hodolic J., Vukelic Dj., Agarski B., Hudjik C. Briquetting of Biomass and Environmental Engineering. *Proceedings – Quality Festival 2007 – 2. Conference about Quality of Life*. Kragujevac, Center for Quality, Faculty for Mechanical Engineering, 2007, pp. 8–11.

20. Jha P., Yadav P. Briquetting of Saw Dust. *Applied Mechanics and Materials*, 2011, vol. 110-116, pp. 1758–1761. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.110-116.1758

21. Križan P., Šooš L., Matúš M., Svátek M., Vukelić D. Evaluation of Measured Data from Research of Parameters Impact on Final Briquettes Density. *APLIMAT – Journal of Applied Mathematics*, 2010, vol. 3, pp. 68–76.

22. Samuelsson R., Thyrel M., Sjöström M., Lestander T.A. Effect of Biomaterial Characteristics on Pelletizing Properties and Biofuel Pellet Quality. *Fuel Processing Technology*, 2009, vol. 90, iss. 9, pp. 1129–1134. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.05.007

23. Ståhl M., Granström K., Berghel J., Renström R. Industrial Processes for Biomass Drying and Their Effects on the Quality Properties of Wood Pellets. *Biomass and Bioenergy*, 2004, vol. 27, iss. 6, pp. 621–628. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.019

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the manuscript