

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

WOODWORKING INDUSTRY

УДК 674.812

Я. П. Жарская, И. Г. Федосенко

Белорусский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ НЕОДНОРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ САНИТАРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Целью исследования является разработка режимов прессования, применение которых позволило бы получить санитарный наполнитель из отходов деревообработки неоднородной влажности. Технология производства древесного наполнителя схожа с технологией производства топливных гранул. Однако вопрос производства данного продукта мало изучен из-за его узкой направленности.

В ходе эксперимента в качестве исходного сырья использовались отходы от механической обработки пиломатериалов с различной влажностью (от 10 до 22%), что существенно затрудняло получение качественного санитарного наполнителя. Получение наполнителя сводилось к применению технологии производства топливных гранул из древесины. Эксперимент проводился на ООО «СВУДС экспорт».

Обязательная сертификация санитарного наполнителя для животных не предусмотрена законодательством Республики Беларусь. Однако учитывая тот факт, что продукт должен быть конкурентоспособным на рынке, необходимо было придерживаться определенных качественных показателей, по которым можно было бы оценить, правильно ли подобраны режимы работы технологического оборудования. Для подтверждения высокого качества полученного наполнителя его характеристики сравнили с пороговыми значениями согласно ISO 17225-2:2021, который применим к топливным гранулам.

Результаты эксперимента показали, что при соблюдении определенных режимов прессования можно получить санитарный наполнитель из отходов деревообработки, которые имеют неоднородную влажность. Важным преимуществом при производстве наполнителя в сравнении с топливными гранулами является тот факт, что такой продукт не подлежит обязательной сертификации. Это значительно упрощает процесс производства ввиду того, что возможно применение древесных отходов, к которым не предъявляются строгие требования по влажности и качеству.

Ключевые слова: наполнитель, гранулы, сертификация, впитываемость, гидротермическая обработка, влажность.

Для цитирования: Жарская Я. П., Федосенко И. Г. Использование древесного сырья неоднородной влажности в производстве санитарного наполнителя // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 157–164.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-21.

Ya. P. Zharskaya, I. G. Fedosenko
Belarusian State Technological University

USE OF WOOD RAW MATERIALS OF HETEROGENEOUS HUMIDITY IN THE PRODUCTION OF SANITARY FILLER

The purpose of the study is to develop pressing modes, the use of which would make it possible to obtain sanitary filler from wood processing waste of non-uniform moisture content. The technology for producing wood filler is similar to the technology for producing fuel pellets. However, the issue of production of this product has been little studied due to its narrow focus.

During the experiment, waste from the mechanical processing of lumber with different moisture contents: from 10 to 22% was used as feedstock, which significantly complicated the production of high-quality sanitary filler. The production of filler was reduced to the use of technology for the production of fuel pellets from wood. The experiment was carried out at “SWOODS Export LLC”.

Mandatory certification of sanitary litter for animals is not provided for by the legislation of the Republic of Belarus. However, given the fact that the product must be competitive in the market, it was necessary to adhere to certain quality indicators by which it would be possible to assess whether the operating modes of the process equipment were correctly selected. To confirm the high quality of the resulting filler, its characteristics were compared with the threshold values according to ISO 17225-2:2021, which is applicable to fuel pellets.

The results of the experiment showed that, subject to certain pressing conditions, it is possible to obtain sanitary filler from wood waste that has non-uniform moisture content. An important advantage in the production of filler in comparison with fuel pellets is the fact that such a product is not subject to mandatory certification. This greatly simplifies the production process due to the fact that it is possible to use wood waste, which is not subject to strict requirements for moisture and quality.

Keywords: filler, granules, certification, absorbency, hydrothermal treatment, humidity.

For citation: Zharskaya Ya. P., Fedosenko I. G. Use of wood raw materials of heterogeneous humidity in the production of sanitary filler. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 1 (276), pp. 157–164 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-21.

Введение. В настоящее время отечественные деревообрабатывающие предприятия параллельно с наращиванием производственных мощностей сталкиваются с проблемой накопления, размещения и утилизации древесных отходов. Постоянно развивающиеся технологии способствуют внедрению все более эффективных способов переработки древесных отходов. Большинство технологических процессов в деревообрабатывающей отрасли связаны с механической обработкой древесины. Данный процесс подразумевает снятие слоя материала с готового продукта, что неизбежно приводит к образованию отходов, количество которых может достигать 50–60% от общего объема сырья [1].

Сегодня популярным направлением использования отходов деревообработки является их применение не только в энергетических целях в качестве конечного продукта для сжигания, но и в процессе глубокой переработки в таких областях, как целлюлозно-бумажное, плитное производство, производство топливных гранул, брикетов и санитарного наполнителя.

Перспективы развития производства санитарного наполнителя являются многообещающими. Современные исследования в области материалов и технологий позволяют создавать все более функциональные и безопасные продукты [2].

Производство древесного санитарного наполнителя является перспективным по ряду причин:

1) возросший спрос: в последние десятилетия с улучшением качества жизни люди стали держать домашних животных и их количество постоянно растет. Это создает повышенный спрос на качественный наполнитель, так как он является неотъемлемой частью ухода за животными;

2) удобство и гигиена: санитарный наполнитель делает уход за домашними животными более гигиеничным. Наполнитель поглощает

запахи и жидкость, предотвращая их распространение. Это помогает сохранить чистоту в помещении и препятствует распространению опасных бактерий;

3) развитие инноваций: производители наполнителя для домашних животных постоянно работают над улучшением качества продукции. В последние годы появились биоразлагаемые и экологически чистые варианты наполнителя, что позволяет удовлетворить многочисленные запросы потребителей;

4) потенциал для экспорта: производители санитарного наполнителя могут успешно экспортировать продукцию за пределы своей страны. С увеличением числа домашних животных и повышением уровня жизни во многих странах спрос на данный продукт также возрос.

В целом производство древесного санитарного наполнителя предоставляет возможность для развития, инноваций и удовлетворения растущего спроса, делая его перспективным продуктом для инвестиций [3].

Одной из основных тенденций в этой области является переход от традиционных наполнителей на основе глины к более усовершенствованным и простым в утилизации. К таким продуктам можно отнести древесные или органические санитарные наполнители.

Еще одной перспективой развития является использование новых технологий для создания более функциональных вариантов продукта. Например, сейчас проводятся исследования по использованию новых технологий для создания наполнителей с улучшенной впитываемостью и устранением запаха. Также разрабатываются специальные добавки, которые могут препятствовать образованию бактерий и грибков [4].

Удобство использования, безопасность для домашних животных и стоимость остаются важными факторами при разработке и выборе

санитарного наполнителя. Поэтому применение в качестве исходного материала древесных измельченных отходов – одно из главных преимуществ этого продукта перед аналогичными вариантами ввиду низкой стоимости сырья для производства.

Также одной из перспектив развития производства санитарного наполнителя для домашних животных является улучшение функциональных характеристик, которые обеспечивают лучшую гигиену и впитываемость влаги, а также упрощают уход за ними. Например, уже существуют наполнители, которые образуют комки при впитывании жидкости, что облегчает их удаление и поддерживает чистоту в помещении [5].

Большим преимуществом производства санитарного наполнителя, а не топливных гранул из древесины является тот факт, что такой продукт не нуждается в обязательной сертификации. Согласно законодательству Республики Беларусь производитель может реализовывать свою продукцию без оформления разрешительной документации. Другими словами, к санитарному древесному наполнителю не предъявляются строгие требования по качеству. Единственный фактор, на который согласно статистике обращает внимание покупатель – цвет продукта [6].

Производство санитарного наполнителя из древесных опилок на базе предприятий, которые выпускают топливные гранулы, является эффективным способом использования отходов деревообрабатывающей промышленности и создания экологически чистого и удобного продукта для бытового применения. Кроме того, данный фактор увеличивает функциональные возможности таких производств, открывая новые рынки сбыта без дополнительного переоборудования или модернизации функционирующих производственных площадок.

В процессе производства наполнителя используются древесные отходы, полученные в результате обработки лесо- и пиломатериалов. Опилки проходят несколько стадий механической обработки. Вот основные этапы технологического процесса: сбор и подготовка древесного материала, термическая обработка, прессование, охлаждение и упаковка. Отличительной особенностью технологии получения санитарного наполнителя является тот факт, что этот продукт должен быть максимально натуральным и без какого-либо запаха, поэтому использование вспомогательных добавок, таких как крахмал кукурузный, древесная мука или лигносульфонаты, нежелательно. Данное ограничение может существенно повлиять на качество готового продукта [7].

За основу технологического процесса получения древесного санитарного наполнителя была взята технология производства топливных

гранул из древесины, но с учетом отсутствия возможности применения каких-либо вспомогательных добавок, которые могли бы улучшить качественные характеристики продукта. Процесс получения топливных гранул из измельченной древесины является достаточно изученной темой, поэтому для производства санитарного наполнителя применимы многие результаты исследований ученых, которые занимались разработкой данной технологии.

О. Д. Мюллер [8] рассматривал в своих работах факторы, которые влияют на качество гранул: давление прессования, вспомогательные добавки, температура прессования. По его мнению, оптимальное давление прессования должно быть в пределах 25–30 МПа. Наряду с этим обязательным этапом производства гранул должно быть охлаждение готового продукта для стабилизации его качественных показателей.

Такого же мнения по поводу обязательного охлаждения готового продукта придерживался А. Н. Попов [9]. Он утверждал, что выдержка готового продукта при низких температурах позволит достичь лучшего качества, а именно увеличит механическую прочность гранул. Также в своих работах он указал, что важным фактором является постоянство влажности у всего объема используемого материала для достижения необходимого качества гранул и определил начальные свойства исходного сырья, такие как влажность не ниже 10–12%, однородность фракционного и породного состава. Из наиболее важных факторов в процессе производства он выделял необходимую температуру прессования 85–95°C и давление прессования в пределах 25–35 МПа.

Л. А. Скорикова [10] в своих исследованиях описывает положительное влияние предварительной подготовки и сортировки древесного сырья, а также положительное влияние контроля влажности древесного материала. Уменьшение влажности исходного материала до 10–12% с предварительной сортировкой по размерам частиц может значительно повлиять на энергопотребление оборудования, что в свою очередь может оказать положительный эффект на технологию производства в целом.

Проработка научных источников [7–10] показала, что постоянство и стабильность влажности всего объема древесного материала является одним из наиболее важных факторов при производстве древесных гранул, которые могут применяться в качестве санитарного наполнителя. В случае использования разного по влажности сырья необходимо подобрать режим работы оборудования, который компенсировал бы этот аспект и позволил бы получить гранулы с высокими качественными характеристиками согласно ISO 17225–2:2021 [11].

Основная часть. Главной задачей эксперимента является разработка режимов прессования неоднородного по влажности древесного сырья. Второстепенной задачей является получение продукта, который по качественным характеристикам соответствует требованиям ISO 17225–2:2021.

При проведении эксперимента используются древесные отходы от механической обработки пиломатериалов хвойных пород, в данном случае сосны. Основными источниками отходов на производственной площадке ООО «СВУДС экспорт» является лесопиление, деревообрабатывающее производство, цех сушки и сортировки сухих пиломатериалов. Важным отличием отходов из трех источников является их влажность и фракционный состав. Лесопиление осуществляет раскрой круглого лесоматериала, после которого образуется смесь щепы и опилок естественной влажности от 50 до 60%. Для дальнейшего использования таких отходов в производстве обязательным условием является гидротермическая обработка, которая позволит снизить начальную влажность сырья до оптимальной. Деревообрабатывающее производство изготавливает мебель и заготовки, осуществляя раскрой пиломатериалов и строгание. Влажность поступающего в производство пиломатериала варьируется от 10 до 16%. Цех сушки и сортировки сухой доски работает с пиломатериалами, которые прошли термическую обработку. Единственной механической операцией, которая осуществляется на данном производстве, является торцовка. Влажность образующихся отходов составляет 10–22%.

В ходе эксперимента использовались отходы после деревообрабатывающего производства и цеха сушки и сортировки сухой доски. Главное отличие такого материала заключается в том, что перед гранулированием он не подвергается термической обработке, чтобы сохранить цвет. Для такого продукта, как санитарный наполнитель, цвет является важным оценочным критерием. На рис. 1 представлены древесные отходы, которые используются в качестве сырья для получения наполнителя.

Предварительная подготовка исходного сырья подразумевает доизмельчение разнородного по влажности и фракционному составу древесного материала до состояния, подходящего для осуществления процесса гранулирования. Данный процесс выполняется на молотковой дробилке СРМ Champion с размером ячейки сит 5–7 мм.

Учитывая тот факт, что влажность древесного материала варьируется от 10 до 22%, необходимо подобрать оптимальный режим работы оборудования, который обеспечит дополнительный прогрев древесной смеси в пресс-грануляторе и уменьшение ее влажности до оптимальных 10–12%.



Рис. 1. Древесные отходы после строгания и торцовки пиломатериалов для производства санитарного наполнителя

Процесс гранулирования осуществляется на прессе СРМ 7932-5, который оборудован двумя роликами и кольцевой матрицей (рис. 2). Производительность данного оборудования составляет 4,5 т готовой продукции в час.

Основой процесса гранулирования древесины является плавление лигнина – одного из основных компонентов, входящих в состав древесины, и его отвердевание [12].

Первоначальный прогрев древесной массы перед прессованием обеспечивают установленным парогенератором Steam 500. Подача пара осуществляется в смесительную камеру перед гранулятором. Воздействие пара позволяет разогреть материал до температуры 50–60°C. Дополнительный прогрев материала осуществляется в рабочей зоне пресса за счет трения и давления между материалом, матрицей и прессующими роликами [13].

Обеспечить дополнительный прогрев древесного материала в грануляторе можно путем увеличения продолжительности нахождения древесной массы в рабочей зоне пресса. Другими словами, снижая подачу материала в зону прессования можно добиться его более длительного контакта с каналом матрицы. Количество подаваемого материала определяется в процентах исходя из максимально допустимой загрузки пресса согласно техническим условиям.

Рабочая часть канала представляет собой цилиндр, длина которого подбирается исходя из породы древесины, размера древесных частиц и конечного продукта.

В данном эксперименте в грануляторе установлена матрица с общей длиной канала 125 мм. Рабочая часть канала составляет 80 мм. Непосредственно в этой части осуществляется контакт прессуемого материала с разогретой

поверхностью канала, рабочая температура которого составляет 85–100°C. Матрица с таким каналом используется для прессования мягких хвойных пород древесины, например сосны [14].



а



б

Рис. 2. Прессовое оборудование СРМ:
а – пресс-гранулятор СРМ 7932-5; б – кольцевая матрица и комплект роликов

В ходе эксперимента подбор технологических параметров прессования осуществлялся на основе внедренной технологии производства топливных гранул на производственной площадке ООО «СВУДС экспорт». В табл. 1 представлены режимы прессования топливных гранул (режим № 1) и санитарного наполнителя (режимы № 2–4).

Таблица 1

Технологические режимы процесса прессования

Параметры	Режим			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Загрузка пресса, %	95	90	85	80
Давление прессования, МПа	30–35	30–35	30–35	30–35
Температура рабочей зоны пресса, °С	95	90	95	93
Влажность опилок, %	10–22	10–22	10–22	10–22

Важным этапом эксперимента стало охлаждение гранул в холодильных установках в течение 45 мин при постоянном перемешивании для равномерного остывания. Холодильная установка фирмы Champion оснащена системой «подвижные полы», которая по мере перемещения толкателей обеспечивает прохождение потока атмосферного воздуха через объем гранул, находящихся в установке, тем самым осуществляется равномерное охлаждение всего объема продукта. Постоянный обдув атмосферным воздухом позволяет добиться снижения температуры готовой продукции до 20–22°C [15].

Для определения оптимального режима прессования проведен контроль качества полученных образцов санитарного древесного наполнителя. В табл. 2 представлены результаты проверки, по которым можно сделать вывод, что наиболее оптимальным является режим прессования № 3. Также данные таблицы свидетельствуют о снижении влажности полученных образцов до 6,5–8,5%, что подтверждает целесообразность уменьшения подачи материала в рабочую зону гранулятора.

Таблица 2

Сравнение качественных показателей

Параметры	Топливные гранулы	Санитарный наполнитель для животных		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Диаметр, мм	6	6	6	6
Влажность, %	8,2	7,5	7,1	6,7
Зольность, %	0,42	0,23	0,20	0,21
Механическая прочность, %	98,2	97,6	98,1	98,4
Мелкая фракция, %	0,2	0,3	0,1	0,2
Насыпная плотность, кг/м ³	654	599	612	619

Результаты контроля качества показывают, что в сравнении с характеристиками, изложенными в ISO 17225–2:2021, образец № 3

максимально приближен к пороговым значениям показателей, поэтому уменьшать загрузку пресса для производства более качественного продукта (результаты образца № 4) нецелесообразно.

На рис. 3 показаны топливные гранулы (образец № 1) и санитарный наполнитель для животных (образец № 3). При визуальной оценке образцов можно сделать вывод, что термическая обработка древесных опилок изменяет цвет гранул. Данный фактор влияет на потребительскую привлекательность среди аналогичных продуктов, о чем было сказано выше.



Рис. 3. Визуальное сравнение топливных гранул и санитарного наполнителя для животных

В табл. 3 представлено сравнение численных значений качественных показателей топливных гранул из древесины и санитарного наполнителя с требованиями по качеству в соответствии с ISO 17225–2:2021. Оценка качества проводилась по разработанным производственным методикам на основе ENplus v3 ISO 17225–2:2021 в производственной лаборатории ООО «СВУДС экспорт».

Таблица 3

Сравнение качественных показателей

Параметры	ENplus	Топливные гранулы	Санитарный наполнитель
Диаметр, мм	6 ± 1	6	6
Влажность, %	≤10	8,2	7,1
Зольность, %	≤0,7	654	612
Механическая прочность, %	≥98	98,2	98,1
Мелкая фракция, %	≤0,5	0,2	0,1
Насыпная плотность, кг/м ³	600–750	654	612

По полученным результатам видно, что внесенные корректировки в процесс прессования древесных опилок с неоднородной влажностью, а именно снижение загрузки пресса на 10%,

способствуют большему прогреву прессуемого материала и снижению влажности готового продукта. Таким образом, подтверждается выдвинутая гипотеза о влиянии продолжительности контакта прессуемого материала с каналом матрицы на снижение влажности готового продукта за счет более длительного прогрева материала.

Заключение. В ходе эксперимента подобраны технологические параметры прессования неоднородного по влажности древесного сырья. Результатом работы стала партия наполнителя, который по качественным характеристикам соответствует требованиям ISO 17225–2:2021. Также после получения образцов сохранился светлый цвет продукта, что является важным критерием оценки для потребителя. Объем полученной партии составил 5,3 т. Внедрение технологии подтверждено Актом о практическом использовании результатов исследования.

Технологический процесс получения санитарного наполнителя схож с технологией производства топливных древесных гранул. Поэтому при анализе литературных и электронных источников внимание уделялось информации, связанной с топливными гранулами. После проработки данного вопроса был определен ряд технологических параметров, которые в течение эксперимента проверялись практически. За основу были взяты технологические параметры производства топливных гранул из древесины.

Эксперимент по получению санитарного наполнителя проходил в несколько этапов. Первоочередно был проведен контроль влажности исходного сырья. Данный параметр составлял 10–22%. Далее были внесены корректировки в технологический процесс гранулирования, а именно снижена загрузка пресса с 95 до 85%. Уменьшение количества подаваемого материала в пресс способствовало увеличению продолжительности пребывания древесного сырья в каналах матрицы. Учитывая рабочую температуру прессования 90–95°C было осуществлено дополнительное прогревание древесного материала и снижение его влажности до 6,5–8,5%.

По окончании прессования гранулы подвергались охлаждению в холодильной установке до 22°C. Несмотря на тот факт, что санитарный наполнитель не нуждается в обязательной сертификации, полученные образцы дополнительно прошли контроль качества на соответствие требованиям ISO 17225–2:2021.

Как результат, получение санитарного наполнителя на базе производства топливных гранул представляет собой эффективный и экологичный способ переработки древесных отходов в востребованный и качественный продукт.

Список литературы

1. Древесина и древесные материалы: сб. ст. / Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР. Красноярск, 1974. 238 с.
2. История появления и развития санитарного наполнителя // Cat Step. URL: <https://www.catstep.ru/advice/o-napolnitelyakh/istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-koshachego-napolnitelya/> (дата обращения: 13.08.2023).
3. Наполнители // ЗООИнформ. URL: <https://zooinform.ru/business/articles/napolniteli-sdelano-v-rossii/> (дата обращения: 07.08.2023).
4. Древесный санитарный наполнитель // Древесные технологии – Wood Technologies. URL: <https://wood-teh.ru/drevesnyij-napolnitel-dlya-domashnih-zhivotnih> (дата обращения: 02.08.2023).
5. Процесс производства санитарного наполнителя // Super Premium Cat Litters. URL: <https://freshcat.ru/blog/proizvodstvo-koshachego-napolnitelya> (дата обращения: 09.09.2023).
6. Сертификация санитарного наполнителя // БизнесСертификат. URL: <https://bizsert.ru/napolnitel-dlya-koshachego-tualeta/> (дата обращения: 01.08.2023).
7. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии). М.: Экология, 1991. 288 с.
8. Мюллер О. Д. Математическая модель процесса формирования древесных гранул // Лесной журнал. 2015. № 2. С. 37–44.
9. Попов А. Н. Исследование процесса производства древесных гранул с целью повышения их энергетического использования: дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 151 л.
10. Скорикова Л. А. Обоснование состава топливных гранул и технологии подготовки древесных опилок для их производства: дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2012. 152 л.
11. Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Graded wood pellets: ISO 17225–2:2021. Geneva: ISO copyright office, 2021. 16 p.
12. Thek G., Obernberger I. The pellet Handbook. The Production and Thermal Utilisation of Pellets. London, Washington DC: Routledge, 2010. 593 p.
13. Чибирев О. В., Куницкая О. А., Ильюшенко Д. А. Экспериментальные исследования прессования опилок древесины сосны на гидравлическом прессе // Изв. С.-Петербур. лесотехн. акад. 2016. № 217. С. 87–92.
14. Технология производства биотоплива // Информационное аналитическое агенство «ИНФОБИО». URL: <https://www.infobio.ru/tiekhnologhiia-proizvodstva-biotopliva/> (дата обращения: 20.09.2023).
15. Кондратьева О. Е. Экология. М.: Юрайт, 2016. 283 с.

References

1. *Drevesina i drevesnyye materialy: sbornik statey* [Wood and wood materials: digest of articles]. Krasnoyarsk, 1974. 238 p. (In Russian).
2. History of the appearance and development of sanitary filler. Available at: <https://www.catstep.ru/advice/o-napolnitelyakh/istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-koshachego-napolnitelya/> (accessed 13.08.2023) (In Russian).
3. Wood Filler. Available at: <https://zooinform.ru/business/articles/napolniteli-sdelano-v-rossii/> (accessed 07.08.2023) (In Russian).
4. Wood sanitary filler. Available at: <https://wood-teh.ru/drevesnyij-napolnitel-dlya-domashnih-zhivotnih> (accessed 02.08.2023) (In Russian).
5. The production process of sanitary filler. Available at: <https://freshcat.ru/blog/proizvodstvo-koshachego-napolnitelya> (accessed 09.09.2023) (In Russian).
6. Certification of sanitary filler. Available at: <https://bizsert.ru/napolnitel-dlya-koshachego-tualeta/> (accessed 01.08.2023) (In Russian).
7. Korobov V. V., Rushnov N. P. *Pererabotka nizkokachestvennogo syrya (problemy bezotkhodnoy tekhnologii)* [Processing of low-quality raw materials (problems of waste-free technology)]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 288 p. (In Russian).
8. Muller O. D. Mathematical model of the wood pellet formation process. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2015, no. 2, pp. 37–44 (In Russian).
9. Popov A. N. *Issledovaniye protsessya proizvodstva drevesnykh granul s tsel'yu povysheniya ikh energeticheskogo ispol'zovaniya. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Study of the production process of wood pellets in order to increase their energy use. Dissertation PhD (Engineering)]. Moscow, 2016. 151 p. (In Russian).
10. Skorikova L. A. *Obosnovaniye sostava toplivnykh granul i tekhnologii podgotovki drevesnykh opilok dlya ikh proizvodstva. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Substantiation of the composition of

fuel granules and technology for the preparation of sawdust for their production. Dissertation PhD (Engineering)]. Yoshkar-Ola, 2012. 152 p. (In Russian).

11. ISO 17225-2:2021. Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Graded wood pellets. Geneva, ISO copyright office, 2021. 16 p.

12. Thek G., Oberberger I. The pellet Handbook. The Production and Thermal Utilization of Pellets. London, Washington DC, Routledge, 2010. 593 p.

13. Chibirev O. V., Kunitskaya O. A., Ilyushenko D. A. Experimental studies of pressing pine sawdust on a hydraulic press. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2016, no. 217, pp. 87–92 (In Russian).

14. Biofuel production technology. Available at: <https://www.infobio.ru/tiekhnologhiia-proizvodstva-biotopliva/> (accessed 20.09.2023) (In Russian).

15. Kondratieva O. E. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow, Yurayt Publ., 2016. 283 p. (In Russian).

Информация об авторах

Жарская Яна Петровна – магистр технических наук, аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь); начальник производства топливных древесных гранул. ООО «СВУДС экспорт» (222515, г. Борисов, ул. Демина, 11А, Республика Беларусь). E-mail: y.zarskaya@tn.ru

Федосенко Иван Гаврилович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Information about the authors

Zharskaya Yana Petrovna – Master of Engineering, PhD student the Department of Woodworking Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus); Head of production of fuel wood pellets. LLC “SWOODS export” (11A, Demina str., 222515, Borisov, Republic of Belarus). E-mail: y.zarskaya@tn.ru

Fedosenko Ivan Gavriilovich – PhD (Engineering), Assistante Professor, the Department of Woodworking Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Поступила 20.10.2023