

УДК 67.08

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4181

Обзор

Использование мягких отходов лесопиления с целью производства топливных брикетов

Даниил К. Морозов¹, Инна В. Морозова² и Сергей Б. Васильев^{2,*}

¹ ООО «КарелСтройСервис», 185031, Россия, г. Петрозаводск, ул. Московская, д. 20; E-Mail: surnamemorozov@gmail.ru (Д. М.)

² Петрозаводский государственный университет, 185910, Россия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33; E-Mails: miv@psu.karelia.ru (И.М.); servas@psu.karelia.ru (С. В.)

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: servas@psu.karelia.ru (С. В.); Tel.: +7(8142)571939.

Получена: 26 июня 2018 / Принята: 24 сентября 2018 / Опубликовано: 10 октября 2018

Аннотация: В лесопромышленных районах РФ накопилось значительное количество отходов, получаемых при переработке древесины. Одним из способов их утилизации может стать переработка в твёрдое биотопливо. К наиболее технологичному виду твёрдого топлива, изготавливаемого из древесных отходов, относятся брикеты и гранулы. Это экологически чистое топливо, применение которого повышает экологическую безопасность. В аналитическом обзоре подробно рассмотрены стадии технологического процесса производства топливных брикетов из древесных опилок. Представлена характеристика разных видов брикетов. Применение экологически безопасных связующих компонентов на основе растительных полимеров при производстве твёрдых топлив позволяет повысить их прочность, водостойкость и теплотворную способность. Анализ показал высокие темпы роста использования биомассы для получения тепловой энергии. Производство брикетов и гранул активно развивается в странах Европы, в США, Канаде. Крупнейшими в мире запасами сырья, пригодного для использования в энергетических целях, обладает Россия. Значительные объёмы твёрдого топлива производятся и экспортируются российскими предприятиями в зарубежные страны. Объёмы потребления топлива с каждым годом существенно повышаются. Переработка древесных отходов в брикеты и гранулы относится к экологически эффективным способам утилизации.

Ключевые слова: отходы древесные; брикеты; гранулы.

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4181

Review

The use of soft sawmill waste for the production of fuel briquettes

Daniil Morozov¹, Inna Morozova² and Sergey Vasilyev^{2,*}

¹ OOO «KarelStroiServis», 185031, Moskovskaja st. 20, Petrozavodsk, Russia; E-Mail: surnamemorozov@gmail.ru (D. M.)

² Petrozavodsk State University, 185910, Lenin av. 33, Petrozavodsk, Russia; E-Mails: miv@psu.karelia.ru (I. M.); servas@psu.karelia.ru (S. V.)

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: servas@psu.karelia.ru (S. V.); Tel.: +7(8142) 571939.

Received: 26 June 2018 / Accepted: 24 September 2018 / Published: 10 October 2018

Abstract: A large amount of wood processing waste has accumulated in the timber industry in Russia in recent years. Their processing into solid biofuel may be one of the ways of their utilization. Briquettes and pellets are the most technologically advanced kinds of solid biofuel produced from wood waste. This is an environmentally friendly fuel, the use of which increases environmental safety. In the analytical review the stages of the technological process of fuel briquettes production from sawdust are considered in detail. The characteristic of different types of briquettes is presented. The use of environmentally friendly binders based on plant polymers in the production of solid biofuel can improve their strength, water resistance and calorific value. The analysis showed high growth rates of biomass use for heat production, both in the private sector and in the district heating systems. Production of briquettes and pellets is actively developing in Europe, in the US, Canada. Russia has the world's largest reserves of raw materials suitable for energy purposes. Significant amounts of solid fuel are produced and exported by Russian enterprises to foreign countries. The amount of domestic consumption of solid biofuel in our country increases significantly every year. Processing of wood waste into fuel briquettes and pellets is an environmentally friendly technology.

Keywords: waste wood; briquettes; pellets.

1. Введение

Для Северо-Западного региона России, обладающего большими запасами древесины, вопросы её эффективного использования крайне актуальны. Вовлечение в топливно-энергетический баланс древесного биотоплива позволяет уменьшить негативное влияние объектов энергетики на окружающую среду и сохранить потенциал не возобновляемых видов топлива для будущих поколений.

Одно из приоритетных направлений развития энергетики — использование возобновляемых источников энергии [1]. К таким источникам относится древесная биомасса, применение которой в регионах с развитым лесопромышленным комплексом является перспективным решением, обеспечивающим энергетическую независимость территории. Кроме того, использование древесной биомассы в энергетике позволяет утилизировать отходы лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий, получать более дешёвую энергию, снизить вредное воздействие на окружающую среду [2].

Падение цен на первичные энергоресурсы, снижение курса национальной валюты Российской Федерации, увеличение объёмов потребления топлива, большие объёмы неосвоенных природных ресурсов нашей страны открывают для компаний, производящих различные виды биотоплива, и для биоэнергетики в целом возможности успешно развиваться как внутри страны, так и за рубежом. Кроме того, из года в год стоимость биотоплива изменяется незначительно, тогда как природный газ, бензин и дизельное топливо для конечного потребителя дорожают [3].

Производство энергии на базе возобновляемых источников становится необходимым и не имеющим альтернативы. По оценке экспертов, к 2020 г. доля энергии, вырабатываемой с помощью возобновляемых источников энергии, должна составлять не менее 7 % в суммарном энергетическом балансе РФ [4], [5].

Производство прессованного биотоплива, в частности топливных брикетов, позволяет утилизировать мягкие отходы лесопиления, получить экологически чистое топливо и дополнительную прибыль от его реализации.

2. Древесные отходы и их использование

По мере развития общества происходит более интенсивное вовлечение природных ресурсов в производственную деятельность человека. В настоящее время в России актуальной стала проблема обеспечения устойчивости развития общества на основе бережного расходования имеющихся ресурсов. «При этом наиболее активно изучаются вопросы обеспечения рационального расходования природных ресурсов, энергосбережения, поиска новых источников энергии, экологической безопасности производства» [6], [7].

Для нашей страны одной из перспективных в решении данной проблемы является лесная и деревоперерабатывающая промышленность. По запасам древесины Российская Федерация (81,5 млрд куб. м) занимает второе место в мире после Бразилии (126,2 млрд куб. м) [8].

По объёмам заготовки Россия занимает пятое место в мире. В результате интенсивной заготовки древесины в XX в. мировые запасы лесов значительно снизились. В этой связи наиболее остро становится вопрос о комплексном использовании древесных лесных ресурсов, что означает использование безотходных (малоотходных) технологий обработки и переработки древесины.

Процессе обработки и переработки древесины во всех производствах связан с получением большого количества отходов. В лесопильно-деревообрабатывающем производстве отходами представлена часть сырья, которая не входит в основную продукцию предприятия. Древесные отходы образуются в значительном количестве на всех стадиях технологического процесса: лесозаготовка — лесопиление — деревообработка [9], [10].

«По данным некоторых исследователей, ежегодно в Российской Федерации образуется 35,5 млн м³ древесных отходов (32,2 % от объёмов используемого пиловочника)» [11], [12].

За последние годы в лесопромышленных районах накопилось огромное количество древесных отходов, так как в большинстве случаев они не используются и иногда не утилизируются.

Проблема утилизации древесных отходов в нашей стране является одной из наиболее актуальных, так как в настоящее время при существующих методах переработки теряется почти половина биомассы дерева [10]. Это свидетельствует о низком уровне технологических процессов деревообработки.

Наиболее значительных результатов в использовании отходов добились страны с высокоразвитой лесопильно-деревообрабатывающей промышленностью, которая является основным поставщиком отходов [7]. К таким государствам относятся США, Канада, Япония, страны Северной и Центральной Европы. Этому способствовали высокий уровень концентрации и интеграции деревообрабатывающей промышленности.

По месту образования отходы делят на лесосечные и отходы переработки древесины [7]. Лесосечные отходы образуются при заготовке древесины и большинство из них остаются в лесу. К этой группе отходов относятся порубочные остатки (сучья, ветки, вершинки, откомлевки), опилки, пни, корни, низкокачественная и неликвидная древесина. Отходы от переработки древесины образуются на предприятиях. При лесопилении и механической обработке такими отходами являются кора, опилки, рейки, стружка, щепка, горбыль, трещиноватая древесина, кусковые отходы.

Древесные отходы также классифицируют по таким признакам, как физико-механические и химические свойства; возможности использования; техническая и экономическая доступность [13]. При этом следует отметить, что наличие различных классификаций иногда не делает сопоставимыми отдельные данные, что затрудняет учёт и анализ образования древесных отходов. В настоящее время для определения направлений дальнейшего использования отходов основными показателями отмечены размерно-качественные характеристики (крупные — кусковые, мелкие — мягкие) и экономические факторы (доступность и рентабельность).

Древесные отходы можно использовать после механической обработки или химической переработки, а также непосредственно без различных обработок [10]. Отходы лесопиления и деревообработки по возможности использования не равноценны. Наиболее ценными из них являются те, которые можно использовать для производства различной продукции [14]. К этой группе можно отнести кусковые отходы: горбыль, рейки и другие. Спектр их использования широкий — от производства пилопродукции и клеёных заготовок до лесохимической продукции (изготовления целлюлозы, спирта, кормовых дрожжей и т. д.).

К менее ценным относятся отходы, ограниченные в использовании, так как из них можно производить только отдельные виды продукции. Это мягкие отходы — опилки, стружка, кора. «Опилки и стружка применяются непосредственно для хозяйственных и промышленных целей, а также как технологическое сырьё для плитного и лесохимического производства» [7], [15]. Использование опилок, стружки и коры в качестве топлива и удобрений является менее трудоёмким [16]. Основные направления использования древесных отходов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Направления использования (производства) древесных отходов

| Группы и виды отходов | Направление производства | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|---------|------------|----------|---------|--------|
| | Целлюлозно-бумажное | Плитное | Химическое | Кормовое | Топливо | Прочие |
| 1. Кусковые отходы: | | | | | | |
| горбыли, рейки | + | + | + | — | + | + |
| оторцовки | + | + | + | + | + | + |
| 2. Мягкие отходы: | | | | | | |
| опилки | — | + | + | + | + | + |
| стружки | + | + | + | + | + | + |
| древесная пыль | — | + | — | — | + | — |
| 3. Кора | — | + | + | + | + | + |

«В качестве топлива в основном используют крупные кусковые отходы древесины и часто без предварительной сушки» [17]. В настоящее время для высокой эффективности работы лесной отрасли нашей страны целесообразно обеспечить переработку и утилизацию древесных отходов в виде гранулированного биотоплива, что наиболее актуально для регионов, богатых лесными ресурсами [18].

3. Виды твёрдого биотоплива

«К наиболее технологичному виду твёрдого биотоплива, изготавливаемого из возобновляемой биомассы, относятся брикеты и гранулы» [17]. Брикетированные твёрдые топлива просты в производстве и выпускаются в основном из отходов деревопереработки

и сельского хозяйства, а также из бытовых отходов. Это позволяет одновременно решать энергетические проблемы и вопросы утилизации отходов.

Существенным положительным аспектом использования твёрдого биотоплива является его минимальное влияние на окружающую среду при сгорании по сравнению с твёрдым топливом при одинаковой теплотворной способности [2]. «При их сжигании количество выделяемого в атмосферу углекислого газа не превышает объёма выбросов, образующихся при естественном разложении древесины, почти отсутствуют выбросы в атмосферу двуокиси серы и других токсичных веществ» [19]. Твёрдые виды биотоплив на основе растительной биомассы — гранулы и брикеты — выступают реальной альтернативой каменному углю, нефти, мазуту, дизельному топливу, дровам. Основным конкурентом древесным гранулам и брикетам может быть природный газ.

Топливные брикеты — это спрессованный при высоком давлении и повышенной температуре древесный и растительный материал, который в результате прессования приобретает новые, уникальные свойства. К таким свойствам относятся плотность (1000 кг/м^3) и теплотворная способность (до 5000 Ккал/кг), что сопоставимо со свойствами каменного угля [17].

Основными требованиями, которые предъявляются к качеству твёрдого биотоплива, являются высокие влагостойкость, плотность и прочность [20]. Это даёт возможность транспортировки их на большие расстояния без изменения теплотворных свойств. Производство твёрдого биотоплива не требует больших финансовых вложений и может быть организовано как в крупных, так и в малых масштабах.

Учитывая, что в настоящее время наблюдается рост цен на энергетические носители получение твёрдого топлива из вторичного сырья для производства энергии снизит затраты предприятий (таблица 2).

Таблица 2. Сравнительная характеристика видов топлива, которые были получены из древесных отходов [21]

| Вид топлива | Цена минимальная, руб./т | Зольность, % | Плотность, кг/м^3 | Теплотворная способность, $\text{КВт}\cdot\text{ч./кг}$ |
|------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| Гранулы | 3000 | 2 | 1200—1400 | 5 |
| Топливный брикет | 4000 | 1,5 | 1250 | 4,3—4,5 |
| Древесный уголь | 12000 | 0,2 | 1430 | 6—8 |

Использование вторичного сырья позволяет сократить затраты предприятий, увеличить рентабельность их деятельности и улучшить экологическую ситуацию [22].

«Для изготовления твёрдого биотоплива используются следующие виды возобновляемого сырья:

- 1) древесные отходы различного происхождения;
- 2) отходы сельскохозяйственного производства (лузга, шелуха, солома);
- 3) бытовые отходы, канализационные стоки;
- 4) специально выращиваемая топливная древесина;
- 5) отходы целлюлозно-бумажного производства;
- 6) торф» [17], [23], [24].

Для эффективного сжигания отходов необходимо, чтобы они имели примерно одинаковые размеры и форму, обеспечивающие нужный контакт с кислородом воздуха для получения наибольшей теплоотдачи. Размеры и форма отходов также должны обеспечивать возможность механизированной и автоматизированной их подачи в топку. Для эффективного применения древесных отходов в качестве топлива применяется их прессование в гранулы и брикеты.

«Прессованное биотопливо имеет ряд преимуществ перед обычным древесным топливом. К таким преимуществам относятся:

- 1) большая теплотворная способность по сравнению с кусковыми отходами древесины и со щепой;
- 2) меньшая стоимость оборудования для котельных установок по сравнению с традиционными установками по сжиганию древесного топлива;
- 3) возможность автоматизированной подачи топлива;
- 4) объём склада для хранения биотоплива на 50 % меньше, чем объём склада для древесной щепы;
- 5) менее строгие требования к сырью (отходам);
- 6) не требуется высококвалифицированный персонал для обслуживания оборудования» [17], [23], [24].

Сырьевой базой для производства гранул и брикетов являются разные виды биомассы, обладающие значительной энергетической ценностью и физическими свойствами, позволяющими эффективно измельчать и прессовать материал (рисунок 1).

В основу технологии производства прессованной продукции из опилок положены сложные физико-химические процессы, которые происходят в древесине под воздействием физико-механических факторов. Изменение некоторых химических и физико-механических свойств древесины установлено в процессе сушки, при обработке её паром и термическом воздействии. В результате воздействия физических факторов изменяется химический состав древесины. Она приобретает новые свойства, необходимые для производства на её основе разной прессованной продукции.

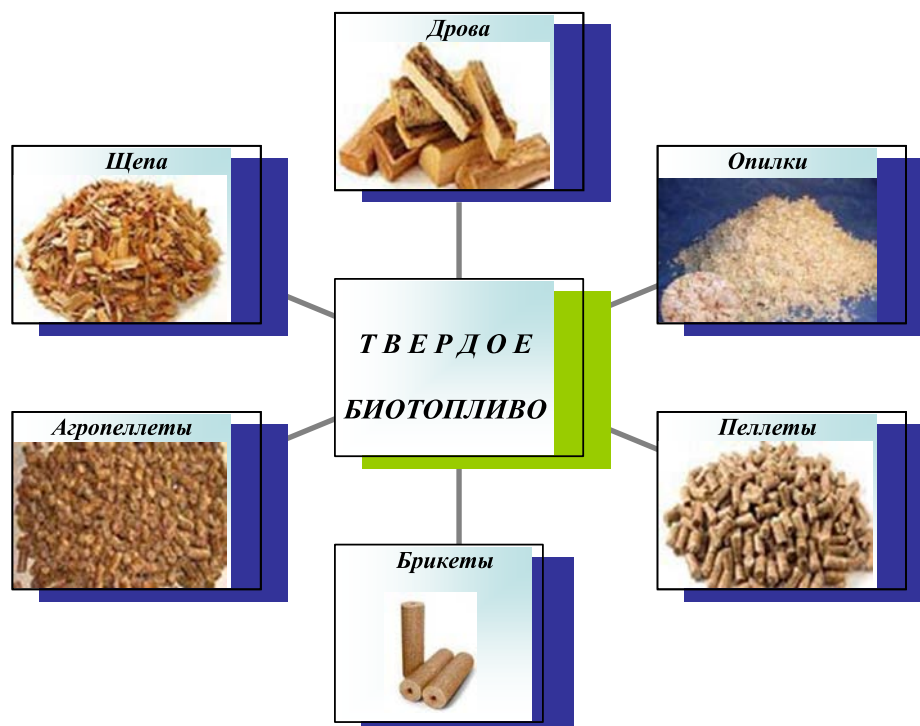


Рисунок 1. Различные виды твёрдого биотоплива из растительного сырья [17]

«Брикет — это сыпучее вещество, спрессованное в плотные куски. Качество брикетов зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- 1) химический состав прессуемого материала;
- 2) насыпная масса прессуемого материала;
- 3) влажность;
- 4) размер брикетируемых частиц;
- 5) температура и давление прессования;
- 6) продолжительность выдержки под давлением» [21].

При изготовлении брикетов особо необходимо учитывать содержание влаги как очень важного параметра, который влияет на плотность брикета. При повышении влажности сырья до 14 % брикет распадается на разные по форме и размерам куски из-за избытка влаги. Объём брикета составляет 1/10 от объёма сырья, затраченного на его производство. Это даёт значительную экономию при транспортировке и хранении древесных отходов [21].

Брикеты отличаются большими размерами, чем гранулы, и по применению ближе к дровам и каменному углю. Однако в отличие от дров брикеты выделяют в 2 раза больше тепла и эффективны в перевозке. В настоящее время разработано большое количество видов топливных брикетов, получаемых на разном оборудовании. В зависимости от конструктивных особенностей прессового оборудования брикеты могут иметь различные размеры и форму. В частности, имеются «брикеты прямоугольной формы («RUF»), цилиндрической, квадратной и восьмигранной формы («Nielsen»), формы восьмигранника с отверстием в середине («Pini-ka»). Форма и свойства брикетов разных видов зависят от:

- 1) их целевого предназначения;
- 2) способа прессования;
- 3) используемого оборудования» [17].

Наиболее распространенными являются древесные брикеты в виде «поленца» длиной 25 см круглого (диаметр 50—70 мм) или шестигранного сечения [25].

В отличие от гранул брикеты можно сжигать в обычных печах и котлах, включая угольные, с автоматической и с ручной подачей. При применении брикетов в качестве топлива можно использовать оборудование котельной, предназначенное для сжигания каменного угля. Присутствие в древесных отходах коры, что приводит к повышенной зольности, существенно не влияет на качество получаемых брикетов. Для брикетирования порода древесины не имеет большого значения. Следует отметить, что целесообразнее одновременно прессовать опилки одной древесной породы. При этом наибольшая производительность достигается при прессовании опилок из твёрдых пород древесины.

Брикетирование древесных отходов осуществляется как со связующим компонентом (например, пекон, лигнином), так и без него. Производство брикетов из древесных отходов со связующими веществами не нашло применения в промышленности, в связи с тем, что пока не найдено дешевого, экологически чистого связующего компонента, способного обеспечить высокую влагостойкость брикетов. Более широко применяется брикетирование без связующих веществ [21].

Брикеты, спрессованные без применения связующих веществ, по своему применению ближе к дровам, только в отличие от них брикеты имеют высокую плотность. Топливные брикеты являются хорошо переработанным и экологически чистым видом топлива, который горит почти бездымно, не стреляет, не искрит, поэтому его идеально использовать для обогрева жилых помещений [26]. Второе название топливных брикетов — «сухое топливо», так как влажность брикетов снижена до 10 %.

«Существенным достоинством брикетов является постоянство температуры при сгорании в течение 4 ч. (теплоотдача брикетов из древесных опилок 4400 ккал, или 18 МДж). Экономичность брикетов состоит в том, что закладка печи «евродровами» производится в 3 раза реже по сравнению с обычными дровами. Для обеспечения работы котла мощностью 10 кВт в течение 1 ч. с 100 % нагрузкой достаточно 2 кг древесных брикетов» [17].

По целевому назначению выделяют 2 группы топливных брикетов — промышленные и потребительские брикеты. Промышленные брикеты применяются как топливо в промышленности, муниципальных котельных, электростанциях. По теплотворной способности и фракционному составу брикеты этой группы аналогичны каменному углю, поэтому ими можно заменять уголь в котельных без переоборудования последних.

Промышленные брикеты выпускаются небольшими кусками или в форме шайб. Они представляют собой насыпной материал. Для таких брикетов в России имеется огромный внутренний рынок, что особенно актуально для удалённых от западных границ регионов.

Для частного рынка загородного отопления и использования в каминах, барбекю, домашних печах, банях предназначены потребительские брикеты. Они выпускаются различного вида и упаковываются в розничную упаковку. Наибольшую популярность в странах Европы и в России получили брикеты круглой формы диаметром 90 мм с центральным отверстием «Nielsen» и брикеты прямоугольной формы «RUF».

Для получения твердого биотоплива без применения связующих, как правило, применяют древесные отходы и отходы растительной биомассы с очень высоким содержанием лигнина. При этом следует иметь в виду, что существуют и недостатки брикетов, полученных без использования связующих. «Одним из таких недостатков является проблема транспортировки на большие расстояния, в ходе которой происходит разрушение большого количества прессованного биотоплива за счёт повышения влажности и, как следствие, снижение их теплотворных свойств» [17].

Топливные гранулы в основном производятся без добавления связующих веществ. Для получения брикетов с улучшенными показателями качества используются разные добавки и связующие вещества. Большинство стандартов зарубежных стран запрещают применение связующих для производства брикетов, так как содержат жёсткие экологические требования по выбросам (диоксида углерода, оксидов серы и азота, сажи и других вредных газов) при сжигании, а также по количеству золы и её плавкости [27].

Однако необходимо отметить, что применение природных, экологически чистых связующих позволит как улучшить технологические характеристики твердого биотоплива, так и даст возможность расширить сырьевую базу для его получения.

В качестве таких связующих может быть использован природный полимер — лигнин. Лигнин — это аморфное вещество в зависимости от способа выделения от светло-кремового до темно-коричневого цвета. Молекулярная масса растворимых лигнинов от 1 до 150 тыс., плотность 1,25—1,45 г/см³. При повышенных давлении и температуре, особенно во влажном состоянии, лигнин проявляет пластические свойства. Лигнины, выделенные различными способами, различаются по составу и свойствам от продукта в нативной форме (протолигнина) и друг от друга [28].

Лигнин, который представляет собой смесь нерегулярных полимеров родственного строения, является объектом исследований, направленных на разработку способов его использования. Причём наибольший интерес для получения твёрдого биотоплива представляют отходы гидролизного производства, т. е. гидролизный лигнин. Такой лигнин может служить в качестве наполнителя в топливном композите и в как связующее при его производстве [29].

О. А. Sotande, А. О. Oluyege, G. B. Abah [30] изучали влияние различных добавок и связующих на прессование брикетов из опилок древесины лиственницы и тюльпанового дерева. Связующими были взяты рапсовая мука, порошок кофейных зёрен, порошок лигнина, кора и сосновые шишки. Исследователями установлено, что при использовании

в качестве связующего порошка лигнина получены топливные брикеты с высокой прочностью.

Лигнин – это дешёвый побочный продукт переработки древесины. D. Tarasov, Ch. Shahi, M. Leitch [31] показали, что при смешивании лигнина с крахмалом и глицерином получаются более прочные и упругие материалы. При измельчении лигнина образуются очень мелкие частицы, которые дают хорошую адгезию с крахмалом, белками сои и их производными с формированием пространственных структур. Это делает их подходящими для использования в качестве связующих веществ.

Ряд исследователей Chuen-Shii Chou, Sheau-Horng Lin, Wen-Chung Lu [32], Donghui Lu, Tabil Lore G., Wang D., Wang G. [33] изучали влияние крахмала и гуммиарабика на плотность и теплотворную способность брикетов из опилок. Установлено, что брикеты с высокой теплотворной способностью (33,09 МДж/кг) и плотностью (0,546 г/см³) получены при использовании в качестве связующего крахмала.

Брикеты с пониженной зольностью и высокой теплотворной способностью (17,9—18,7 МДж/кг) получены при использовании как связующего глицерина при прессовании соломы пшеницы и в присутствии опилок хвойных пород древесины [34].

Р. Б. Табакаев с соавт. [17] производили брикеты из смеси рисовой соломы вместе с рисовыми отрубями и древесными опилками. Авторы предполагают, что плотность брикетов возрастает за счёт образования сшивающих мостиковых связей между лигнином и белком. При температуре прессования 90 °С брикеты имеют достаточную теплоту сгорания, но низкую плотность, что влияет на их прочность. Повышение температуры прессования до 150 °С приводит к получению высокопрочных брикетов с теплотой сгорания 18 МДж/кг.

Исследователи B. V. Meneva, J. G. Renirie, J. A. A. Van Der Meijden, J. J. G. Van Soest, J. J. Plijter [17] предлагают способ изготовления твёрдого биотоплива, который включает смешивание растительной биомассы с 0,1—10 масс. %: крахмал как связывающий компонент и насыщенные длинноцепочечные жирные кислоты, имеющие алифатическую цепь длиной в 12 атомов углерода, и/или их аналоги с температурой плавления или диапазоном плавления в пределах от 40—95 °С.

В качестве связующего также использовали карбоксилметилцеллюлозу при соотношении компонентов, масс. %: крахмал от 4 до 8 или карбоксилметилцеллюлоза от 4 до 8, вода менее 3, измельчённый древесный уголь — остальное, до 100. Применение данных связующих позволяет повысить плотность топливного брикета с 500 до 900 кг/м³. Предлагаемые технические решения расширяют ассортимент твёрдого топлива и обеспечивают создание экологически чистого брикетированного топлива с высокими энергетическими и прочностными характеристиками. Однако основным недостатком таких способов получения твёрдых биотоплив является применение в качестве связующих продуктов пищевого назначения, а это может привести к увеличению их стоимости.

Некоторые авторы, в частности И. М. Мазурин, Б. П. Пономаренко, Wolfgang Stelte [17], для повышения теплоты сгорания, уменьшения зольности и увеличения водостойкости перед прессованием растительную биомассу подвергали термической обработке при температуре 200—300 °С без доступа воздуха. После этого полученную биомассу измельчали и прессовали, смешивая со связующим веществом и без него. В качестве связующего компонента применяли крахмал, муку, карбоксилметилцеллюлозу. Брикетты, полученные из термически обработанной древесины с использованием связующих, отличаются высокими прочностными качествами, водостойкостью и длительным сроком хранения.

При обработке растительной биомассы при температуре 200—320 °С без доступа воздуха получают «чёрные» брикетты [16]. Это модифицированное влагостойкое энергетическое топливо с небольшим содержанием влаги (до 3 %), малыми объёмом и массой (снижение на 30—50 %), с низким содержанием серы и золы, способное конкурировать с углём. Такое топливо может храниться на открытом воздухе и отгружаться в открытые контейнеры, что снижает себестоимость хранения и транспортировки по сравнению с обычными древесными гранулами.

Ряд исследователей для повышения пластифицирующих свойств и связующих качеств лигнина и лигноцеллюлозной биомассы в процессе прессования применяли активацию (взрывной автогидролиз) [35], химическую модификацию (окисление лигнинов периодатом калия) и механоактивацию гидролизного лигнина [17]. Полученные при этом топливные брикетты имеют улучшенные прочностные и потребительские характеристики.

Philip H. Steel, Venkata K. Penmetsa [17] для производства твердого биотоплива предлагают в качестве связующего вещества использовать биомасло, полученное пиролизом растительной биомассы или различных видов лигнина (крафт-лигнин, органосольвентный лигнин, лигнин чёрного щелока). В ходе проведённых исследований получены топливные брикетты с повышенной гидрофобностью и высокой теплотой сгорания.

Б. Н. Кузнецов с соавт. [36] определили, что низкомолекулярные лигнины, полученные при окислительной каталитической делигнификации древесины пихты и осины в среде уксусной кислоты, имеют большое количество кислородсодержащих групп и могут быть использованы в качестве связующих при производстве твёрдых биотоплив. Например, древесные брикетты, полученные с использованием уксуснокислотных лигнинов, имеют прочность на сжатие 28 и 21 МПа, водопоглощение 18 и 15 % для пихты и осины соответственно.

Большой интерес представляет растительный полимер суберин для применения его как связующего агента при производстве твёрдых биотоплив. Это липофильное высокомолекулярное вещество клеточных оболочек опробковевших тканей, содержание которого в бересте коры берёзы составляет 37—40 %.

S. Koskimies, J. Hulkko, P. Pitkänen, N. Heiskanen, J. Yli-Kauhaluoma, K. Wähälä [17] предложили способ выделения суберина, содержащегося в бересте берёзы, в смесь карбоновых кислот щелочным гидролизом без применения органических растворителей.

После этого проведение переработки фракции, обогащённой цис-9, 10-эпокси-18-гидроксиоктадекановой кислотой, в моно-, олиго- и полиэфиры или соответствующие сложные эфиры, которые могут быть использованы в качестве топливных компонентов, экологически чистых агентов для модификации древесины, связующих веществ для твёрдых биотоплив.

T. Inversen, H. Nilsson, A. Olsson [17] выделили субериновые кислоты гидролизом водными растворами NaOH и Na₂CO₃ из коры пробкового дуба с последующей их этерификацией для применения в качестве связующего агента для производства твёрдых биотоплив.

И. Г. Судакова с соавт. [37] выявили, что суберин, выделенный из бересты берёзы гидролизом KOH, характеризуется повышенной реакционной способностью за счёт содержания реакционноспособных групп различной химической природы. Применение суберина в качестве связующего компонента позволило исследователям получить брикеты с плотностью 850—862 кг/м³ и пределом прочности на сжатие 23—29 МПа.

И. Г. Судакова и Н. Б. Руденко [17] к особой категории твёрдого биотоплива относят брикеты, которые получены с использованием вторичного сырья как связующих, наполнителей и улучшителей. Для изготовления таких брикетов применяют все виды отходов переработки лигноцеллюлозного сырья и бытовые отходы.

I. Y. Tsyhankov, M. O. Sahalevych, Y. Kobayashi [17] предлагают использовать в качестве связующего бытовые отходы, в частности пластик, и наполнитель — это материалы растительного происхождения (солома, торф, опилки, бумага). На поверхности таких брикетов при прессовании формируется защитная плёнка, улучшающая их физико-механические свойства.

Ряд исследователей (J. S. Hwang, B. J. Choi, K. S. Kang, G. Fuasak, P. Plion, V. Fische, F. Taba, A. O. Сафонов, О. Ф. Трещева) [17] для производства топливных брикетов предлагают в пресс-массу добавлять угольную пыль или жидкие моторные топлива, в качестве связующего применяют водоросли, воск или ил. Это даёт возможность расширить сырьевую базу утилизируемых отходов. Такие топливные брикеты можно использовать как индустриальные топлива.

4. Технологический процесс производства брикетов

Для брикетирования древесных отходов разработаны различные технологические процессы, в зависимости от целевого назначения брикетов и характеристики исходного сырья. Современная линия для производства древесных брикетов включает участки хранения и подготовки сырья, сушки, прессования.

«Технологический процесс производства брикетов состоит из следующих операций:

- 1) транспортировка сырья к технологической линии;
- 2) удаление металлических включений, камней, пыли из сырья;
- 3) измельчение крупных древесных отходов;

- 4) сортировка для удаления крупных фракций;
- 5) измельчение сырья в молотковых дробилках до получения частиц одинакового размера;
- 6) сушка;
- 7) термообработка;
- 8) прессование;
- 9) охлаждение брикетов;
- 10) упаковка, хранение и транспортировка брикетов к месту потребления» [21].

Указанные операции осуществляются не во всех технологических процессах брикетирования. Измельчение осуществляют при брикетировании крупных отходов. Кусковые отходы и кору измельчают в рубильных машинах или дробилках различных конструкций с последующим измельчением до нужной фракции в молотковых мельницах. Сортировка древесных отходов необходима во всех технологических процессах брикетирования, т. к. позволяет обеспечить безопасную работу оборудования и улучшить качество брикетов. Сушку проводят при влажности брикетируемых отходов более 18 %.

Для прессования отходов древесины применяют прессы различных конструкций:

- штемпельные с открытой матрицей (поршневые);
- штемпельные с закрытой матрицей;
- винтовые (шнековые);
- вальцовые;
- с кольцевой матрицей.

Поршневой пресс (рисунок 2) работает циклически. При каждом ходе поршня продавливают определённое количество материала через коническое сопло, на брикетах чётко видны соответствующие циклам слои. В приводе применяется маховик, позволяющий выровнять нагрузку двигателя. Износ поршня невелик, т. к. относительное перемещение между прессуемым материалом и поршнем мало, быстро изнашивается сопло. Поршневые прессы относительно дешевы, поэтому широко распространены.

Шнековый пресс (рисунок 3) легче поршневого из-за отсутствия массивных поршней и маховиков. Продукция выходит непрерывно и её можно разрезать на нужные куски. Плотность выше, чем у поршневых прессов. Шнековые прессы менее шумные, благодаря отсутствию ударных нагрузок. Из недостатков следует отметить больший расход энергии и быстрый износ шнека.

Брикетированию в основном подвергают только опилки. При необходимости брикетирования более крупных кусков сыпучей древесины щепу и стружку предварительно измельчают до крупности опилок. При брикетировании опилок необходимо давление 800—1400 кгс/см². Влажность опилок перед брикетированием должна быть не выше 12—15 % и не ниже 8—9 %.

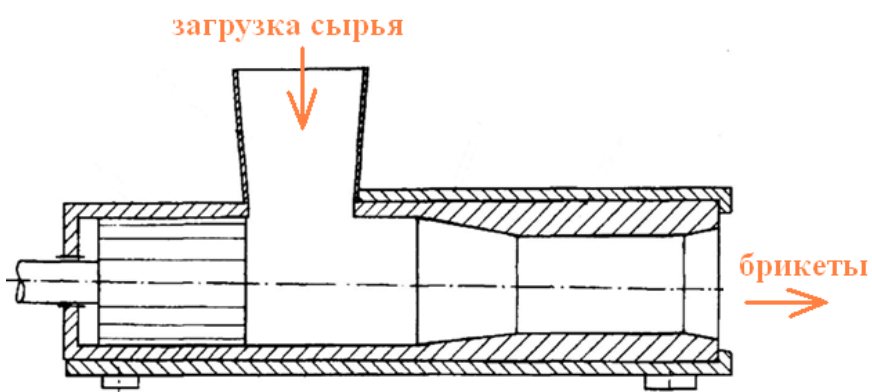


Рисунок 2. Поршневой пресс

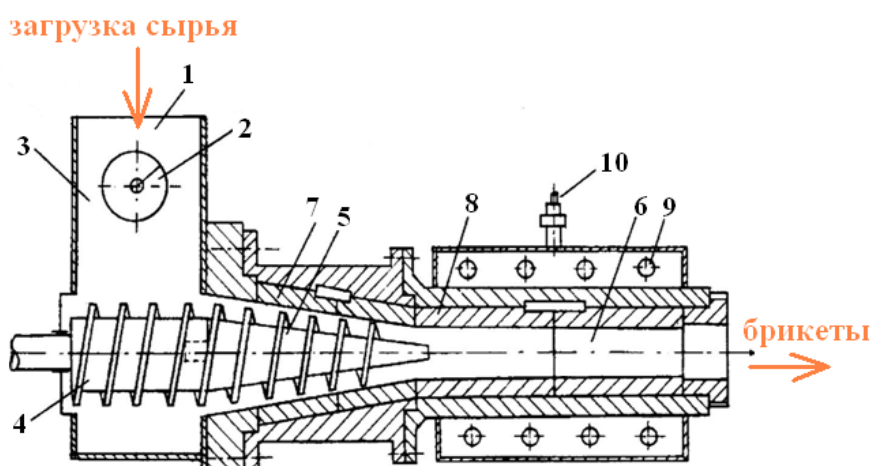


Рисунок 3. Шнековый пресс: 1 — загрузочное окно, 2 — ворошитель, 3 — камера, 4 — шнек цилиндрический, 5 — шнек конический, 6 — канал матрицы, 7 — коническая втулка, 8 — втулка, 9 — нагревательные элементы. 10 — терморпара

Более подробно рассмотрим производство брикетов из древесных опилок. Схема технологического процесса производства топливных брикетов из древесных опилок представлена на рисунке 4.

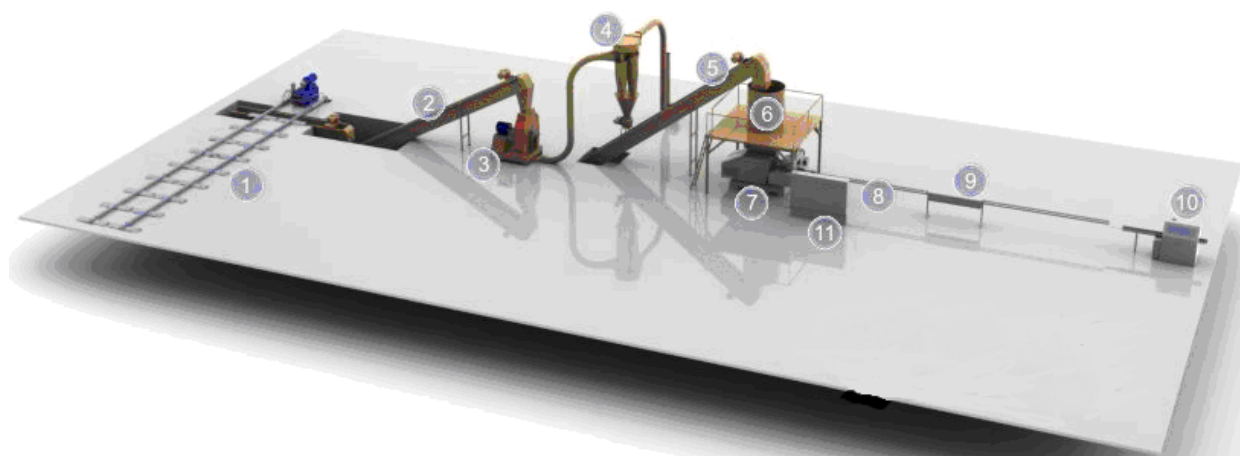


Рисунок 4. Схема технологического процесса производства топливных брикетов из сухих мелких древесных отходов [38]: 1 — механизированный склад, 2 — ленточный транспортёр, 3 — молотковая мельница, 4 — осадочный циклон, 5 — промежуточный транспортёр, 6 — бункер брикетного пресса, 7 — брикетный пресс, 8 — тоннельный охладитель, 9 — металлодетектор, 10 — автоматическая пила

Измельченные и высушенные древесные опилки подвозятся автотранспортом или подгрузчиком и ссыпаются на механизированный склад («подвижный пол»). Стокеры механизированного склада оснащены гидравлическим приводом, под действием которого стокеры совершают возвратно-поступательные движения. Лопатки стокеров клиновидной формы, поэтому при их движении опилки с регулируемой скоростью подачи направляются к цепному или ленточному транспортёру. Затем сырьё подаётся в пневмосепаратор. В пневмосепараторе из опилок в переносной контейнер удаляются камни и другие примеси, а очищенное сырьё перемещается в молотковую мельницу, где происходит его измельчение до фракции, необходимой для брикетирования.

После измельчения сырьё под действием разрежения, создаваемого вентилятором, засасывается в осадочный циклон. В циклоне за счёт центробежной силы сырьё отделяется от воздуха и через шлюзовый затвор движется в промежуточный транспортёр и затем в бункер брикетного пресса. Внутри бункера размещается устройство, препятствующее слеживанию муки. Из бункера мука с помощью шнекового питателя с регулируемой скоростью подачи направляется в брикетный пресс. В прессе мука помещается в камеру (или в 2 камеры) предварительного прессования, из которой шнеком или 2 встречно направленными шнеками подаётся в камеру прессования. В этой камере мука подвижным поршнем вдавливается в коническую неподвижную матрицу и под действием большого давления формируется брикет.

Такой брикет непрочный и имеет высокую температуру, поэтому далее он направляется в тоннельный охладитель. В процессе охлаждения за счёт испарения влажность брикета снижается, и в нём происходят физико-химические изменения. После охлаждения брикет

приобретает нужную температуру, влажность, твёрдость. Брикет, продвигаясь по туннелю охладителя, проходит металлодетектор и перемещается в автоматическую пилу. С помощью автоматической пилы производится его нарезка на отдельные брикеты заданной длины. После этого брикеты поступают на участок упаковки и склад готовой продукции.

В целом, «линии брикетирования древесных отходов комплектуются вспомогательным оборудованием в зависимости от вида и физических свойств исходного сырья.

Качество брикетов зависит от разных факторов, основными из них являются:

- 1) химический состав прессуемого материала;
- 2) насыпная масса прессуемого материала;
- 3) влажность прессуемого материала;
- 4) размер брикетируемых частиц;
- 5) температура и давление прессования;
- 6) продолжительность выдержки под давлением.

В зависимости от конструктивных особенностей прессового оборудования брикеты могут иметь различные размеры и форму» [21] (таблица 3, рисунок 5).

Таблица 3. Характеристика различных видов брикетов

| Тип брикета | Форма брикета | Размеры сечения (ширина × высота), мм | Длина брикета, мм | Плотность, кг/м ³ |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Шашечный | Призматическая, прямоугольного сечения со скругленными рёбрами | 120...160 × 50...70 | 25...40 | 950...1100 |
| Брусковый | Брусок квадратного или восьмиугольного сечения с центральным отверстием или без него | 50...70 × 50...70 | 30...400 | 800...1300 |
| Цилиндрический | Цилиндр с центральным отверстием или без него | Диаметр 25...100 | 30...400 | 800...1300 |
| Гранулы | Цилиндр или эллипсоид | Диаметр 3...16 | 6...25 | 900...1500 |

По назначению брикеты и гранулы делят на технологические и топливные. Технологические брикеты из древесных отходов используются в гидролизной и лесохимической промышленности, для биохимической переработки. В гидролизном производстве при загрузке варочных котлов опилочными брикетами, а не опилками увеличивается их производительность. Брикеты из лиственничной и еловой коры используют для производства дубильных экстрактов.



Рисунок 5. Различные формы топливных брикетов RUF [39]

Технологические брикеты должны легко распадаться и размельчаться при растирании, но не должны обладать большой прочностью и влагоёмкостью. В этом случае брикетирование осуществляется с целью улучшения транспортабельности материала.

Топливные брикеты служат в качестве бытового и промышленного топлива. Эти брикеты рассчитаны на длительный срок хранения в атмосферных условиях без доступа воды, должны обладать повышенной прочностью и влагоёмкостью. В настоящее время большее распространение получили топливные гранулы. Они удобнее брикетов, сыпучи, позволяют организовать автоматическую загрузку теплогенератора.

«На территории Российской Федерации построено несколько предприятий, изготавливающих линии гранулирования, брикетирования и измельчения, в частности “ДозаГран”, ООО “ПромТехПроект-СПб”, СПиКо, Механика-Транс, Автоматик-Лес, Экодрев, Радвилькшский машиностроительный завод и другие.

Зарубежный рынок представлен широким разнообразием оборудования и техники для изготовления облагороженного топлива и использования в качестве топлива древесины и её отходов. К примеру, RPM, California Pellet Mill Co., Amandus Kahl, Rosal Mabrik, Vecoplan, Muench» [40].

5. Масштабы производства и направления использования твёрдых биотоплив

Истощение традиционных источников энергии, растущий спрос и цены на углеводородные энергетические ресурсы вызывают большую тревогу всего мирового сообщества. По оценкам «Международного энергетического агентства (МЭА), мировое потребление энергоресурсов с 1970 по 2008 г. увеличилось в 1,5 раза. Согласно прогнозам МЭА, спрос на энергоресурсы в мире к 2030 г. возрастёт на 65—70 %» [41].

Для обеспечения энергетической и экологической безопасности мировое сообщество предпринимает активные действия для уменьшения зависимости энергетики от ископаемого топлива и увеличения доли использования возобновляемых источников энергии. В этой связи в настоящее время одним из направлений развития этой отрасли промышленности является использование биотоплива. Современный биотопливный рынок начал формироваться в последнее десятилетие из-за того, что только сейчас поняли, что классические источники энергии исчерпаемы. В этом отношении биоэнергетика обладает явным преимуществом, т. к. в качестве исходного сырья использует возобновляемую биомассу. На территории России сосредоточены крупнейшие в мире запасы биомассы, пригодной для использования в энергетических целях [17].

США являются мировым лидером по использованию твёрдых биотоплив для получения тепла и электроэнергии. К примеру, в 2007 г. в этой стране 42 ТВт·ч. электроэнергии производилось из твёрдой биомассы. На втором месте по использованию твёрдых биотоплив находится Япония (16 ТВт·ч.), на третьем — Германия (10 ТВт·ч.).

По состоянию на конец 2009 г. в США насчитывалось 80 проектов по применению твёрдой биомассы для производства электроэнергии общей мощностью 8,5 ГВт [41]. Угольные и газовые электростанции частично или полностью переходят на использование биомассы путём применения технологии совместного сжигания. Такая технология также широко применяется в Германии и Великобритании.

В странах ЕС возрастает число станций, работающих только на твёрдых биотопливах, что привело к увеличению производства электроэнергии с 2001 до 2009 г. в 3 раза. На начало 2010 г. в странах ЕС зарегистрировано около 800 электростанций, работающих на твёрдой биомассе общей мощностью около 7 ГВт. Большинство этих электростанций расположено в богатых лесными ресурсами Скандинавских странах, в Австрии и Германии.

Лидером среди стран Европы является Германия, которая увеличила объём производства электрической энергии из этого вида топлива в 20 раз при сравнении с 2002 г. до 1200 МВт установленной мощности в 2008 г., что составляет 5,3 % от всей производимой в этой стране электроэнергии. Твёрдое биотопливо — это второй по значимости возобновляемый источник в Германии после ветра.

Использование биотоплива также возрастает и в развивающихся странах, в частности в Китае, Индии, Бразилии, Уругвае, Мексике, Таиланде. «В 2009 г. объём установленных мощностей в Китае составил 3,2 ГВт (рост на 14 % по сравнению с 2008 г.), поэтому страна планирует довести этот показатель до 30 ГВт к 2020 г.» [41].

Наиболее технологичным и самым популярным видом твёрдого биотоплива являются топливные гранулы (или пеллеты), которые можно изготавливать из разных видов биомассы.

Приблизительно две трети топливных древесных гранул, производимых во всем мире, сжигается на электростанциях в странах ЕС. В Европе первое производство топливных гранул было организовано в Швеции, где в 1984—1988 гг. начали утилизировать древесные отходы при помощи гранулирования, в дальнейшем используя полученную продукцию

в качестве альтернативного топлива. Основными потребителями древесных гранул в Европе являются Швеция, Нидерланды, Австрия, Германия и другие страны, и каждой год наблюдается стабильный прирост производства и потребления этого продукта.

Топливные гранулы получили широкое распространение в европейских странах благодаря различным формам поддержки как производителей, так и потребителей. К мерам поддержки относятся квоты на выработку ТЭЦ на твёрдом биотопливе «зелёного» электричества, т. е. электричества на основе биомассы, налоги на применение ископаемых энергоресурсов, субсидии на установку котлов, работающих на гранулах [17]. Кроме того, рост спроса на пеллеты связан с законодательными ограничениями на выбросы парниковых газов в рамках Киотского протокола, а также с Директивой по возобновляемым источникам энергии в странах ЕС. С 1 января 2010 г. в ЕС действует единый стандарт качества на топливные гранулы [42].

В результате в Европе потребление древесных топливных гранул в период 2004—2009 гг. увеличилось в 4,5 раза и продолжает возрастать. Аналогичные тенденции роста отмечены в Северной Америке, где Канада и в особенности США перестают быть чистыми экспортёрами гранул в страны Европы, а развивают собственные внутренние рынки [17]. Так, например, в конце 2006 г. спрос на топливные гранулы в США составил 1,4 млн т — это около 2 % всей произведённой в этой стране электрической энергии. Это рост более чем в 2 раза по сравнению с 2002 г. К основными потребителям гранул в США относятся частный сектор, малые теплоэлектростанции и электростанции. В период с 2008 по 2010 г. США увеличило экспорт гранул в страны ЕС более чем в 2 раза [41].

Первые предприятия по производству топливных гранул в Северной Америке появились ещё в 30-е гг. XX в. Большого масштаба это производство достигло в 70-е гг. и к концу XX в. объём производства превышал 2 млн т гранул в год.

Производство топливных древесных гранул непосредственно в странах ЕС за период 2008—2010 гг. увеличилось на 20,5 % и составило в 2010 г. 10,6 млн м³. За счёт собственного производства удовлетворяется почти 81 % потребностей ЕС в топливных древесных гранулах [43]. Согласно данным Европейской экономической комиссии ООН, 44 % всей древесной биомассы используется в Европе для производства энергии.

Крупнейшим производителем топливных гранул в ЕС является Германия с объёмом производства в 2010 г. около 2 млн т в год, объёмом производственных мощностей выше 3 млн т в год.

По показателям объёма мощностей для выпуска топливных древесных гранул после Германии следует отметить Швецию, Австрию, Францию, Польшу [41]. В Швеции, Финляндии, Эстонии за счёт древесины удовлетворяется почти 20 % общих потребностей в энергии. В Эстонии, Латвии и Литве общий объём мощностей по выпуску древесных топливных гранул составляет 1,3 млн т в год.

Общемировой объём торговли всеми видами твёрдого топлива на основе биомассы, исключая древесный уголь, в 2010 г. составил 18 млн т, или 300 МДж. Более 90 % этого

показателя (273 МДж) приходилось на энергетические носители на основе древесины, в том числе на топливные древесные гранулы (120 МДж), древесные отходы (77 МДж) и топливную древесину (76 МДж) [41].

Согласно пресс-релизу компании German Pellets GmbH, которая ссылается на Pöyry Management Consulting, мировой спрос на гранулы ежегодно растёт на 15 % и к 2020 г. должен составить 58 млн т.

В России в настоящее время заложены основы для развития рынка древесных топливных гранул, где происходит активное формирование информационной инфраструктуры отрасли. В частности, действуют информационно-консультационные центры, часть из которых получает поддержку от европейских правительственных и неправительственных фондов. Ежегодно проводятся всероссийские и международные семинары и конференции по биоэнергетике. В рамках лесопромышленных выставок организуются разделы по биотопливу, выходят специализированный журнал и отраслевой справочник по биоэнергетике «Древесная топливная гранула». В нашей стране создан Европейский Центр Биоэнергетики, который организовали Независимое партнёрство «Лесоинженерный Центр» и FT. В целом, интерес, а следовательно, и спрос на гранулы и топливные брикеты растёт с огромной скоростью [18].

Производство топливных древесных гранул в России постоянно растёт. В 2012 г. его объём без учёта агропеллет составил 1 млн т. Основная часть топливных древесных гранул, производимых в нашей стране, экспортируется в Европу. Объём экспорта в 2012 г. достиг почти 850 тыс. т в год. Следует отметить, что поставки гранул происходят в основном в промышленный сектор, т. к. на рынке гранул для частного потребления в странах Европы доминируют местные производители. В 2012 г. Россия заняла пятое место в мире по экспорту гранул после США, Канады, Латвии и Германии. Основными потребителями российских топливных гранул являются Дания, Швеция, Финляндия, Латвия, Германия.

Экспортные поставки гранул и брикетов преимущественно осуществляются из Северо-Западного федерального округа, а также из центральной части России и Сибири, в частности из Красноярского края. К примеру, «в 2011 г. 19,8 % всего производства топливных гранул приходилось на Красноярский край, на территории которого работают два крупных завода — ДОК «Енисей» и «Новоенисейский ЛХК»» [17].

«В первом полугодии 2016 г. экспорт древесных топливных брикетов из нашей страны составил 32 904 тонны» [44].

Крупнейшим отправителем брикетов является компания-трейдер ООО «Русская древесина». На втором месте стоит ООО «ЮПМ-Кюммене Чудово», которое утилизирует собственные древесные отходы и продаёт их в Финляндию. Третье место занимает ООО «Энергиябиоресурс», поставляющая свою продукцию в Южную Корею. На четвёртом месте по объёмам экспорта находится компания-трейдер ООО «Балтийская лесная группа». В Литву и Эстонию поступают топливные брикеты, производимые ЗАО «Суда». ООО «Латина», ООО «Экодрев плюс», ООО «ИКЕА Индастри Вятка» и ООО «Брикет» также

относятся к лидерам российского экспортного рынка брикетов. Объёмы их поставок варьируют от 1200 до 1700 т/полгода [44].

В Карелии ООО «Русский Лесной Альянс» занимается производством топливных гранул премиум-класса. «В 2016 г. произведено 25 тыс. тонн гранул, из них 20 тыс. тонн экспортировано в Данию. Импортёрами этой продукции также являются Финляндия и Швеция. Установленное летом 2017 г. новое высокотехнологичное оборудование итальянской компании Instalmec позволило повысить пропускную способность циклона с 3 тыс. до 75 тыс. кубометров в час. Таким образом, мощность модернизированного производства древесного биотоплива достигла 2,5 тыс. тонн гранул в месяц. Это дало возможность компании стать самым крупным производителем экологически чистого топлива в республике» [45].

К крупным производителям топливных гранул на территории Карелии также относятся ООО «Сетново», ООО «Ловако», ООО «Борю», ООО «Лес-торг». Объём экспорта этого вида твёрдого биотоплива в страны Европы составляет 40—50 тыс. т в год. Производителями топливных брикетов в республике являются ООО «ТЕКО-ЛТД», ООО «ПРОМЛЕС» [46].

Крупными импортёрами древесных гранул из России являются Дания, Швеция, Швейцария, Бельгия, Польша, Южная Корея, Нидерланды, Германия, Исландия и Финляндия. В целом ежегодно из России в страны Европы поставляется около 1 млн т топливных гранул [40]. В Европе строятся когенерационные и биотопливные ТЭЦ, и каждую угольную электростанцию правительство обязывает применять биотопливо на 10—15 %. В этой связи, по оценкам экспертов, недостающая потребность европейских потребителей в промышленных топливных гранулах достигает 5 млн. т.

Согласно данным ежегодного отчёта об использовании биотоплива ЕС 2013 г., в 2012 г. потребление древесных гранул составило 14 млн т. При этом, согласно аналитическому прогнозу POYRY, ежегодное потребление гранул в Европе к 2050 г. должно достигнуть 23,8 млн т [40].

Внутреннее потребление брикетов растёт в среднем на 2—4 % в год и составляет не более 10—15 %. В ряде республик и областей существуют региональные программы по развитию биотоплива. К примеру, в Республике Коми компания АО «Коми тепловая компания» ежегодно закупает брикеты в объёме 25 тыс. т для своих котельных и готова увеличить объёмы закупок до 45 тыс. т/год. Железные дороги широко используют брикетированное биотопливо в электропоездах и поездах дальнего следования [44].

В России имеется огромный внутренний рынок для производства и использования топливных брикетов, что особенно актуально в условиях действия санкций на экспорт продукции в страны ЕС, Америку и Канаду.

6. Заключение

Анализ литературы показал, что за последние годы в лесопромышленных районах нашей страны накопилось значительное количество разных видов древесных отходов, получаемых при переработке древесины. В этой связи возник вопрос утилизации древесных отходов. Одним из способов решения этой проблемы может стать использование этих отходов для производства различной продукции.

В настоящее время для высокой эффективности работы лесной отрасли в регионах, богатых лесными ресурсами, в том числе и в Карелии, целесообразно проводить переработку и древесных отходов в твёрдое биотопливо. К наиболее технологичному виду твёрдого биотоплива, изготавливаемого из древесных отходов, относятся брикеты и гранулы. Это экологически чистое топливо, применение которого повышает экологическую безопасность.

По результатам анализа научно-технической информации, следует отметить, что тематика проводимых исследований в основном направлена на усовершенствование разработанных методов получения брикетов и гранул из древесных отходов. В аналитическом обзоре подробно рассмотрены стадии технологического процесса производства топливных брикетов из древесных опилок. Представлена характеристика разных видов брикетов.

Значительное количество публикаций посвящено расширению сырьевой базы для производства твёрдого биотоплива за счёт использования недревесной растительной биомассы и бытовых отходов. Применение экологически безопасных связующих компонентов на основе растительных полимеров при производстве твёрдых биотоплив позволяет улучшить их потребительские характеристики путём повышения прочности, водостойкости и теплотворной способности.

Анализ данных по масштабам производства твёрдого биотоплива в мире показал колоссальные темпы в использовании биомассы для получения тепловой энергии как в частном секторе, так и в системе централизованного теплоснабжения. Производство твёрдого биотоплива, в частности брикетов и гранул, активно развивается в странах Европы, в США, Канаде. Крупнейшими в мире запасами биомассы, пригодной для использования в энергетических целях, обладает Россия. Значительные объёмы твёрдого топлива производятся и экспортируются российскими предприятиями в зарубежные страны. Объёмы внутреннего потребления твёрдого биотоплива в нашей стране с каждым годом существенно повышаются.

Сырьё растительного происхождения широко используется в мире как возобновляемый источник энергии, и, следовательно, рециклинг мягких отходов лесопиления для производства топливных брикетов относится к экологически эффективным способам утилизации отходов, позволяющий возвращать в круговорот веществ и энергии их ценные компоненты.

Список литературы

1. *Любов, В. К.* Повышение эффективности энергетического использования биотоплив : учеб. пособие / В. К. Любов, С. В. Любова. — Архангельск : Солти, 2010. — 496 с.
2. EU-27 Biofuels Annual Report / B. Flach, K. Bendz, R. Krautgartner, S. Lieberz // USDA Foreign Agricultural Service GAIN. — 2013. — Report No.: NL3034.
3. *Ståhl, M.* Improving Wood Fuel Pellets for Household Use — Perspectives on Quality, Efficiency and Environment. Doctoral Thesis / M. Ståhl. — Karlstad : Karlstads universitet, 2008. — 89 p. — ISSN 1403-8099.
4. Энергетическая стратегия России : распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 [Электронный ресурс]. — URL: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy>.
5. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года : распоряжение Правительства РФ от 28.08.2003 № 1234-р (ред. от 15.06.2009). — Москва, 2003. — 103 с.
6. *Коршак, А. В.* Обоснование технологии производства древесных брикетов на прессовом оборудовании ударного типа : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Коршак. — Санкт-Петербург, 2011. — 20 с.
7. *Мохирев, А. П.* Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования / А. П. Мохирев, Ю. А. Безруких, С. О. Медведев // Инженерный вестник Дона. — 2015. — Т. 36, № 2—2. — С. 81.
8. Yearbook of Forest products. FAOU N. — Rome, 2012. — 358 p.
9. *Гелес, И. С.* Древесное сырье — стратегическая основа и резерв цивилизации / И. С. Гелес. — Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. — 499 с.
10. *Конюхов, В. Ю.* Пути использования древесных отходов / В. Ю. Конюхов, Н. В. Кербан // Молодежный вестник ИрГТУ. — 2015. — № 3. — С. 2.
11. *Колесникова, А. В.* Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России / А. В. Колесникова // Актуальные вопросы экономических наук. — 2013. — № 33. — С. 116—120.
12. *Андреев, А. А.* Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья / А. А. Андреев // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. — 2014. — № 10. — С. 148—155.
13. *Брюханова, Е. С.* Проблемы утилизации мягких отходов древесины и отходов животноводства / Е. С. Брюханова, А. Г. Ушаков, Г. В. Ушаков // Альтернативная энергетика и экология. — 2010. — № 5. — С. 71—82.
14. Разработка композиционных материалов на основе древесных отходов / Р. Г. Сафин, Т. Д. Исхаков, А. А. Гайнуллина, Т. О. Степанова, А. Р. Хабибуллина // Деревообрабатывающая промышленность. — 2014. — № 4. — С. 32—37.
15. *Степанова, Т. О.* Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов / Т. О. Степанова, А. А. Гайнуллина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2014. — Т. 2, № 5—4. — С. 299—303.
16. *Шегельман, И. Р.* Анализ путей повышения конкурентоспособности энергетической биомассы / И. Р. Шегельман, А. С. Васильев // Инженерный вестник Дона. — 2013. — Т. 26, № 3(26). — С. 22—29.
17. *Судакова, И. Г.* Получение твёрдых биотоплив из растительных отходов (обзор) / И. Г. Судакова, Н. Б. Руденко // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. — 2015. — Т. 8, № 4. — С. 499—513.
18. *Галяветдинова, Н. Р.* Разработка технологии получения древесных топливных гранул с повышенной энергетической эффективностью / Н. Р. Галяветдинова,

- А. Ф. Насыбуллина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2014. — Т. 2, № 3—4 (8—4). — С. 27—31.
19. Ледницкий, А. В. Организация производства прессованного древесного топлива / А. В. Ледницкий, П. А. Протас // Труды БГТУ. Экономика и управление. — 2011. — № 7. — С. 160—166.
20. Гомонай, М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырьё, оборудование, технологии, режимы работы / М. В. Гомонай. — Москва : ГОУ ВПОМГУЛ, 2006. — 68 с.
21. Альберг, Н. И. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность / Н. И. Альберг, С. Е. Санжиева, С. Салхофер. — Москва : Издательский дом Академии Естествознания, 2016. — 308 с.
22. Безрукова, Т. Л. Экономическая эффективность использования вторичного сырья лесной промышленности / Т. Л. Безрукова, И. И. Шанин, В. В. Травникова // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 1—3. — С. 492—495.
23. Биотопливо из древесного сырья / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий, Н. И. Кожухов, В. Д. Никишов. — Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. — 384 с.
24. Онучин, Е. М. Перспективы формирования территориальных агролесоводственных бионергетических комплексов / Е. М. Онучин // Международный технико-экономический журнал. — 2012. — № 5. — С. 82—88.
25. Imam, S. H. Biobased adhesive, gums, emulsions, and binders: current trends and future prospects / S. H. Imam, C. Bilbao-Sainz, B.-S. Chiou // Journal of Adhesion science and technology. — 2013. — Vol. 27, No. 18—19. — P. 1972—1997.
26. ГОСТ Р 54219-2010 (ЕН 14588:2010) Биотопливо твёрдое. Термины и определения.
27. Khitrin, K. S. Lignin utilization option and methods / K. S. Khitrin, S. L. Fuks, S. V. Khitrin [et. al.] // Russian Journal of General Chemistry. — 2012. — Vol. 82, No. 5. — P. 977—984.
28. Дейнеко, И. П. Утилизация лигнинов: достижения, проблемы и перспективы / И. П. Дейнеко // Химия растительного сырья. — 2012. — № 1. — С. 5—20.
29. Byoung, J. A. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron* / J. A. Byoung, C. Hee-sun, M. L. Soo [et. al.] // Renewable Energy. — 2014. — No. 62. — P. 18—23.
30. Sotannde, O. A. Physical and combustion properties of briquettes from sawdust of *Azadirachta indica* / O. A. Sotannde, A. O. Oluyeye, G. B. Abah // Journal of Forestry research. — 2010. — No. 21 (1). — P. 63—67.
31. Tarasov, D. Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: Review / D. Tarasov, Ch. Shahi, M. Leitch // ISRN Forestry. — Vol. 2013. — Article ID 876939. — 6 p. [Electronic resource]. — URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/876939>.
32. Chuen-Shii Chou. Preparation and characterization of solid biomass fuel made rice straw and rice bran / Chuen-Shii Chou, Sheau-Hong Lin, Wen-Chung Lu // Fuel Processing Technology. — 2009. — Vol. 90. — P. 980—987.
33. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders / Donghui Lu, Tabil Lope G., Wang D., Wang G. // Biomass and Bioenergy. — 2014. — Vol. 69. — P. 287—296.
34. Evaluation of pellets produced with undergrowth to be used as biofuels / N. L. Mustelie, M. E. Almeida, J. Cavalheiro [et. al.] // Waste Biomass Valor. — 2012. — Vol. 3. — P. 285—294.
35. Исследование связующих свойств автогидролизованной древесины осины / Е. В. Веприкова, Е. Н. Чунарев, М. Л. Щипко, Н. В. Чесноков, Б. Н. Кузнецов // Химия растительного сырья. — 2012. — № 4. — С. 49—54.

36. Интегрированная каталитическая переработка древесины осины в жидкие и твёрдые биотоплива / Б. Н. Кузнецов, Н. В. Чесноков, Н. В. Гарынцева, О. В. Яценкова // Журнал СФУ. Химия. — 2013. — № 3 (6). — С. 286—298.
37. Выделение и применение суберина из бересты коры берёзы / И. Г. Судакова, Н. В. Гарынцева, И. П. Иванов [и др.] // Журнал Сибирского Федерального Университета. Химия. — 2012. — № 2 (5). — С. 168—177.
38. ЭкоЭнергия. — URL: <http://www.ecology-energy.ru>.
39. Портал-Инжиниринг. — URL: <http://biomass-a.ru>.
40. Попов, А. Н. Исследование процесса производства древесных гранул с целью повышения эффективности их энергетического использования : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Попов. — Архангельск, 2016. — 160 с.
41. Аналитический обзор. — Москва : Российское энергетическое агентство, 2012. — 56 с.
42. Васильев, Н. И. Пеллеты и топливные брикеты — прогрессивные виды твёрдого биотоплива / Н. И. Васильев // Энергосбережение. — 2011. — № 4. — С. 14—20.
43. ЕЭК ООН/ФАО. Ежегодный обзор рынка лесных товаров, 2011—2012 годы // Женевское исследование по сектору лесного хозяйства и лесной промышленности. — № 30.—240 с.
44. Аналитический обзор рынка топливных брикетов. I половина 2016 г. — Москва : Изд-во ИАА «ИНФОБИО» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.infobio.ru>.
45. ООО «Русский Лесной Альянс». — URL: <http://rwa.karelia.ru>.
46. Научно-исследовательский и аналитический центр экономики леса и природопользования. — URL: <http://www.umocpartner.ru>.

References

1. Lyubov, V. K. Povyshenie effektivnosti energeticheskogo ispol'zovaniya biotopliv : ucheb. Posobie / V. K. Lyubov, S. V. Lyubova. — Arxangel'sk : Solti, 2010. — 496 s.
2. EU-27 Biofuels Annual Report / B. Flach, K. Bendz, R. Krautgartner, S. Lieberz // USDA Foreign Agricultural Service GAIN. — 2013. — Report No.: NL3034.
3. Ståhl, M. Improving Wood Fuel Pellets for Household Use — Perspectives on Quality, Efficiency and Environment. Doctoral Thesis / M. Ståhl. — Karlstad : Karlstads universitet, 2008. — 89 p. — ISSN 1403-8099.
4. Energeticheskaya strategiya Rossii : rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 [Elektronnyj resurs]. — URL: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy>.
5. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2020 goda : rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28.08.2003 № 1234-r (red. ot 15.06.2009). — Moskva, 2003. — 103 s.
6. Korshak, A. V. Obosnovanie texnologii proizvodstva drevesnyx briketov na pressovom oborudovanii udarnogo tipa : avtoref. dis. ... kand. texn. Nauk / A. V. Korshak. — Sankt-Peterburg, 2011. — 20 s.
7. Moxirev, A. P. Pererabotka drevesnyx otkodov predpriyatij lesopromyshlennogo kompleksa kak faktor ustojchivogo prirodnopol'zovaniya / A. P. Moxirev, Yu. A. Bezrukix, S. O. Medvedev // Inzhenernyj vestnik Dona. — 2015. — T. 36, № 2—2. — S. 81.
8. Yearbook of Forest products. FAOU N. — Rome, 2012. — 358 p.
9. Geles, I. S. Drevesnoe syr'e — strategicheskaya osnova i rezerv civilizacii / I. S. Geles. — Petrozavodsk : Karelskij nauchnyj centr RAN, 2007. — 499 s.
10. Konyuxov, V. Yu. Puti ispol'zovaniya drevesnyx otkodov / V. Yu. Konyuxov, N. V. Kerban // Molodezhnyj vestnik IrGTU. — 2015. — № 3. — S. 2.

11. Kolesnikova, A. V. Analiz obrazovaniya i ispol'zovaniya drevesny`x otxodov na predpriyatiyax lesopromy`shlennogo kompleksa Rossii / A. V. Kolesnikova // Aktual'ny`e voprosy` e`konomicheskix nauk. — 2013. — № 33. — S. 116—120.
12. Andreev, A. A. Resursosberezhenie i ispol'zovanie otxodov zagotovki i pererabotki drevesnogo sy`r`ya / A. A. Andreev // Fundamental'ny`e i prikladny`e issledovaniya: problemy` i rezul'taty`. — 2014. — № 10. — S. 148—155.
13. Bryuxanova, E. S. Problemy` utilizacii myagkix otxodov drevesiny` i otxodov zhivotnovodstva / E. S. Bryuxanova, A. G. Ushakov, G. V. Ushakov // Al'ternativnaya e`nergetika i e`kologiya. — 2010. — № 5. — S. 71—82.
14. Razrabotka kompozicionny`x materialov na osnove drevesny`x otxodov / R. G. Safin, T. D. Isxakov, A. A. Gajnullina, T. O. Stepanova, A. R. Xabibullina // Derevoobraty`vayushhaya promy`shlennost`. — 2014. — № 4. — S. 32—37.
15. Stepanova, T. O. Sovremennyye stroitel'ny`e kompozicionny`e materialy` na osnove drevesny`x otxodov / T. O. Stepanova, A. A. Gajnullina // Aktual'ny`e napravleniya nauchny`x issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. — 2014. — T. 2, № 5—4. — S. 299—303.
16. Shegel'man, I. R. Analiz putej povy`sheniya konkurentosposobnosti e`nergeticheskoy biomassy` / I. R. Shegel'man, A. S. Vasil'ev // Inzhenerny`j vestnik Dona. — 2013. — T. 26, № 3 (26). — S. 22—29.
17. Sudakova, I. G. Poluchenie tvyordy`x biotopliv iz rastitel'ny`x otxodov (obzor) / I. G. Sudakova, N. B. Rudenko // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Ximiya. — 2015. — T. 8, № 4. — S. 499—513.
18. Galyavetdinova, N. R. Pazrabotka texnologii polucheniya drevesny`x toplivny`x granul s povy`shennoj e`nergeticheskoy e`ffektivnost`yu / N. R. Galyavetdinova, A. F. Nasy`bullina // Aktual'ny`e napravleniya nauchny`x issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. — 2014. — T. 2, № 3—4 (8—4). — S. 27—31.
19. Ledniczkij, A. V. Organizaciya proizvodstva pressovannogo drevesnogo topliva / A. V. Ledniczkij, P. A. Protas // Trudy` BGTU. E`konomika i upravlenie. — 2011. — № 7. — S. 160—166.
20. Gomonaj, M. V. Proizvodstvo toplivny`x briketov. Drevesnoe sy`r`yo, oborudovanie, texnologii, rezhimy` raboty` / M. V. Gomonaj. — Moskva : GOU VPOMGUL, 2006. — 68 s.
21. Al'berg, N. I. Kompleksnoe ustojchivoe upravlenie otxodami. Derevoobraty`vayushhaya i cellyulozno-bumazhnaya promy`shlennost` / N. I. Al'berg, S. E. Sanzhieva, S. Salxofer. — Moskva : Izdatel'skij dom Akademii Estestvoznaniya, 2016. — 308 s.
22. Bezrukova, T. L. E`konomicheskaya e`ffektivnost` ispol'zovaniya vtorichnogo sy`r`ya lesnoj promy`shlennosti / T. L. Bezrukova, I. I. Shanin, V. V. Travnikova // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. — 2015. — № 1—3. — S. 492—495.
23. Biotoplivo iz drevesnogo sy`r`ya / A. S. Fedorenchik, A. V. Ledniczkij, N. I. Kozhuxov, V. D. Nikishov. — Moskva : GOU VPO MGUL, 2010. — 384 s.
24. Onuchin, E. M. Perspektivy` formirovaniya territorial'ny`x agrolesovodstvenny`x bionergeticheskix kompleksov / E. M. Onuchin // Mezhdunarodny`j texniko-e`konomicheskij zhurnal. — 2012. — № 5. — S. 82—88.
25. Imam, S. H. Biobased adhesive, gums, emulsions, and binders: current trends and future prospects / S. H. Imam, C. Bilbao-Sainz, B.-S. Chiou // Journal of Adhesion science and technology. — 2013. — Vol. 27, No. 18—19. — P. 1972—1997.
26. GOST R 54219-2010 (EN 14588:2010) Biotoplivo tvyordoe. Terminy` i opredeleniya.
27. Khitrin, K. S. Lignin utilization option and methods / K. S. Khitrin, S. L. Fuks, S. V. Khitrin [et. al.] // Russian Journal of General Chemistry. — 2012. — Vol. 82, No. 5. — P. 977—984.

28. Dejneko, I. P. Utilizaciya ligninov: dostizheniya, problemy` i perspektivy` / I. P. Dejneko // *Ximiya rastitel`nogo sy`r`ya*. — 2012. — № 1. — S. 5—20.
29. Byoung, J. A. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron* / J. A. Byoung, C. Hee-sun, M. L. Soo [et. al.] // *Renewable Energy*. — 2014. — No. 62. — P. 18—23.
30. Sotannde, O. A. Physical and combustion properties of briquettes from sawdust of *Azadirachta indica* / O. A. Sotannde, A. O. Oluyeye, G. B. Abah // *Journal of Forestry research*. — 2010. — No. 21 (1). — P. 63—67.
31. Tarasov, D. Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: Reviw / D. Tarasov, Ch. Shahi, M. Leitch // *ISRN Forestry*. — Vol. 2013. — Article ID 876939. — 6 p. [Electronic resource]. — URL: [http:// dx.doi.org/10.1155/2013/876939](http://dx.doi.org/10.1155/2013/876939).
32. Chuen-Shii Chou. Preparation and characterization of solid biomass fuel made rice straw and rice bran / Chuen-Shii Chou, Sheau-Horng Lin, Wen-Chung Lu // *Fuel Processing Technology*. — 2009. — Vol. 90. — P. 980—987.
33. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders / Donghui Lu, Tabil Lope G., Wang D., Wang G. // *Biomass and Bioenergy*. — 2014. — Vol. 69. — P. 287—296.
34. Evaluation of pellets produced with undergrowth to be used as biofuels / N. L. Mustelie, M. E. Almeida, J. Cavalheiro [et. al.] // *Waste Biomass Valor*. — 2012. — Vol. 3. — P. 285—294.
35. Issledovanie svyazuyushhix svojstv avtogidrolizovannoj drevesiny` osiny` / E. V. Veprikova, E. N. Chunarev, M. L. Shhipko, N. V. Chesnokov, B. N. Kuznecov // *Ximiya rastitel`nogo sy`r`ya*. — 2012. — № 4. — S. 49—54.
36. Integrirovannaya kataliticheskaya pererabotka drevesiny` osiny` v zhidkie i tvordy`e biotopliva / B. N. Kuznecov, N. V. Chesnokov, N. V. Gary`nceva, O. V. Yacenkova // *Zhurnal SFU. Ximiya*. — 2013. — № 3 (6). — S. 286—298.
37. Vy`delenie i primenenie suberina iz beresty` kory` beryozy` / I. G. Sudakova, N. V. Gary`nceva, I. P. Ivanov [I dr.] // *Zhurnal Sibirskogo Federal`nogo Universiteta. Ximiya*. — 2012. — № 2 (5). — S. 168—177.
38. E`koE`nergiya. — URL: <http://www.ecology-energy.ru>.
39. Portal-Inzhiniring. — URL: <http://biomass-a.ru>.
40. Popov, A. N. Issledovanie processa proizvodstva drevesny`x granul s cel`yu povy`sheniya e`ffektivnosti ix e`nergeticheskogo ispol`zovaniya: avtoref. dis. ... kand. texn. Nauk / A. N. Popov. — Arxangel`sk, 2016. — 160 s.
41. Analiticheskij obzor. — Moskva : Rossijskoe e`nergeticheskoe agentstvo, 2012. — 56 s.
42. Vasil`ev, N. I. Pellety` i toplivny`e brikety` — progressivny`e vidy` tvordogo biotopliva / N. I. Vasil`ev // *E`nergoberezenie*. — 2011. — № 4. — S. 14—20.
43. EE`K OON/FAO. Ezhegodny`j obzor ry`nka lesny`x tovarov, 2011—2012 gody` // *Zhenevskoe issledovanie po sektoru lesnogo xozyajstva i lesnoj promy`shlennosti*. — № 30. — 240 s.
44. Analiticheskij obzor ry`nka toplivny`x briketov. I polovina 2016 g. — Moskva : Izd-vo IAA «INFOBIO» [E`lektronny`j resurs]. — URL: <http://www.infobio.ru>.
45. OOO «Russkij Lesnoj Al`yans». — URL: <http://rwa.karelia.ru>.
46. Nauchno-issledovatel`skij i analiticheskij centr e`konomiki lesa i prirodo-pol`zovaniya. — URL: <http://www.umocpartner.ru>.