

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS

УДК 630*363.7

А. В. Вавилов

Белорусский государственный технологический университет

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ БЕЛАРУСИ

Вопросу использования древесных отходов в энергетике посвящено много научных работ, но большинство из них охватывает только лесосечные отходы, отходы лесопиления и деревообработки. Недостаточно литературных источников, в которых раскрыты вопросы использования древесных отходов всего строительного комплекса, включая твердые коммунальные целлюлозосодержащие отходы. Недостаточно уделено внимания подготовке топлива из древесных отходов, его подаче в специальные энергетические установки и сжиганию там.

В данной работе предлагаются технические и технологические решения по заготовке и дальнейшему использованию различного вида древесных отходов, пути совершенствования энергетических установок для получения энергии из древесных отходов. При этом особое внимание уделено подготовке и подаче для сжигания щепы из древесно-кустарниковой растительности; роли процесса пиролиза при сжигании отходов строительного комплекса, материалов и плит на древесной основе; производству и использованию обогороженных видов топлива из древесных отходов.

В статье прослежен путь развития малой энергетики Беларуси на древесных отходах – от использования дров и щепы до получения брикета и пеллет, а из них энергии на производственных объектах Беларуси.

Ключевые слова: древесные отходы, щепы, брикеты, пеллеты, мини-ТЭЦ, газогенераторы, котельные.

Для цитирования: Вавилов А. В. К вопросу использования древесных отходов в энергетике Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 93–104.

A. V. Vavilov

Belarusian State Technological University

ON THE USE OF WOOD WASTE IN THE ENERGY SECTOR OF BELARUS

Many scientific works have been devoted to the use of wood waste in the energy sector, but most of them cover only logging waste, sawmilling and woodworking waste. There are not enough literary sources that disclose the issues of using wood waste from the entire construction complex, including solid municipal cellulose-containing waste. Insufficient attention has been paid to the preparation of fuel from wood waste, its supply to special power plants and combustion there.

This paper proposes technical and technological solutions for the procurement and further use of various types of wood waste, ways to improve power plants for generating energy from wood waste. At the same time, special attention is paid to the preparation and supply for burning wood chips from bush vegetation; the role of the pyrolysis process in the incineration of building complex waste, wood-based materials and boards; production and use of refined fuels from wood waste.

The article traces the path of development of small-scale power generation in Belarus using wood waste – from the use of firewood and wood chips to obtaining briquettes and pellets, obtaining energy from them at the facilities of Belarus.

Key words: wood waste, wood chips, briquettes, pellets, mini-CHP, gas generators, boiler houses.

For citation: Vavilov A. V. On the use of wood waste in the energy sector of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 1 (252), pp. 93–104 (In Russian).

Введение. В статье рассмотрены практически все древесные отходы, в частности целлюлозосодержащие, которые находят и могут найти более широкое применение в энергетике. Прослежен путь развития инфраструктуры по заготовке и подготовке топлива к сжиганию из древесных отходов, по совершенствованию энергетических установок для получения энергии из древесных отходов, по производству более калорийного топлива [1–17].

Основная часть. Давно используемое древесное топливо – это дрова, которые и сегодня служат бытовым топливом для населения, особенно сельского, несмотря на то, что дрова, в связи с возможностью их глубокой переработки, являются технологическим сырьем. В Беларуси, особенно в 90-х гг. прошлого столетия, была поставлена задача значительно увеличить объем использования местных видов топлива. По этой причине в котельных, приспособленных для сжигания твердого топлива, в больших объемах сжигались дрова, правда, коэффициент полезного использования (КПД) был невысокий. Запомнился широко применяемый котел Минск-1, в который порой подавались бревна с высоким процентом деловой части. Нелегким был труд рабочих по подготовке бревен к сжиганию в таких котлах. Если дрова заготавливали из толстых фаутных бревен, получаемых из деревьев, удаляемых вдоль дорог или в парках при их реконструкции, применяли и продолжают применять затратную технологию распиливания их бензопилами на чурки с последующим раскалыванием на дровокольных станках [1]. Предлагается задействовать известный за рубежом более эффективный метод уменьшения размеров толстых деревьев – расщепление их на куски вдоль всего бревна с помощью сменного раскалывающего рабочего органа (рис. 1 и 2), монтируемого на многофункциональную машину, уже имеющуюся на предприятии, например одноковшовый фронтальный погрузчик или одноковшовый гидравлический экскаватор.

Роликовая система в раскалывающем устройстве позволяет сократить сопротивление трению и значительно сэкономить энергозатраты при расщеплении древесины.

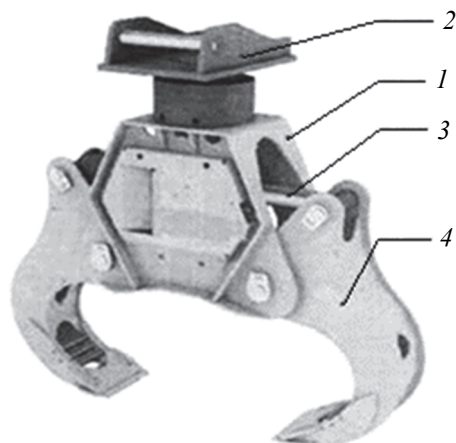


Рис. 1. Конструкция рабочего органа для раскалывания крупногабаритных бревен:
1 – корпус; 2 – монтажный фланец;
3 – гидроцилиндр; 4 – клещ

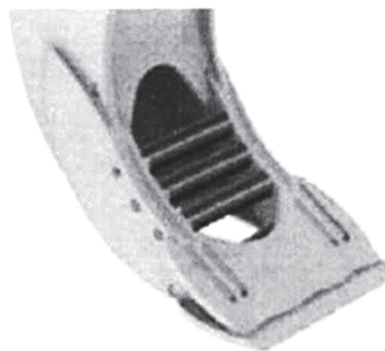


Рис. 2. Роликовая система рабочего органа

Однако определением энергозатрат при расщеплении толстых деревьев на мелкие куски в зависимости от породы древесины, ее состояния и т. д., судя по литературным источникам, никто не занимался. Нами были проведены исследования на предмет подбора по энергетическим возможностям базовой многофункциональной машины для навешивания раскалывающего рабочего органа.

Исходя из выполненных расчетов, для навешивания сменного раскалывающего рабочего органа подходит лесопогрузчик «Амкодор 352 Л» (рис. 3).

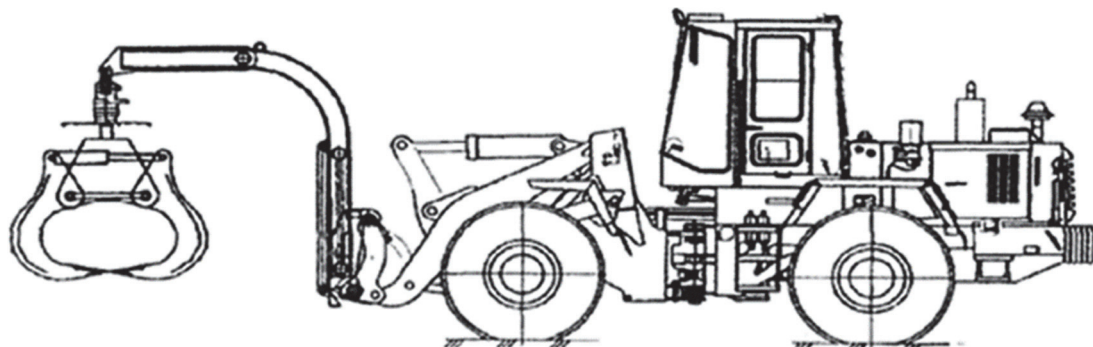


Рис. 3. Лесопогрузчик «Амкодор 352 Л» со сменным раскалывающим рабочим органом

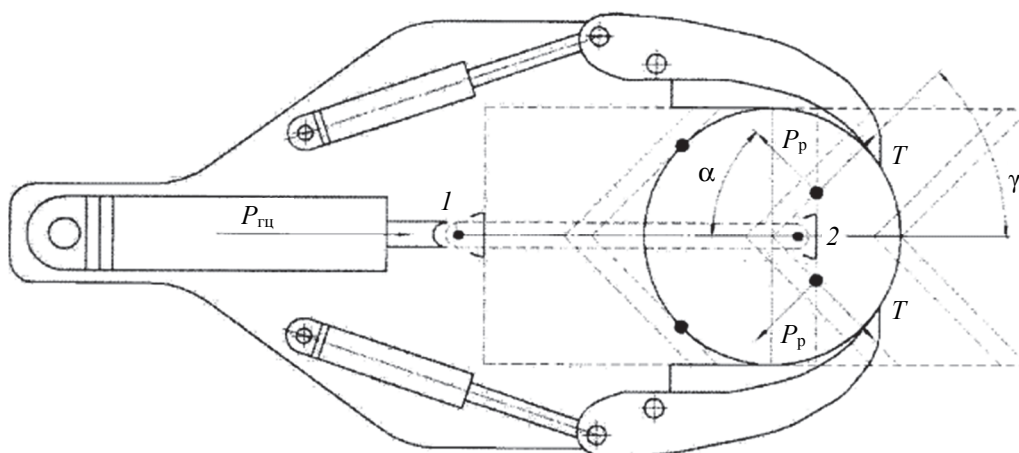


Рис. 4. Компановочно-кинематическая схема одноножевого срезающего устройства типа гильотина: 1 – гидроцилиндр для привода ножей; 2 – толкатель;

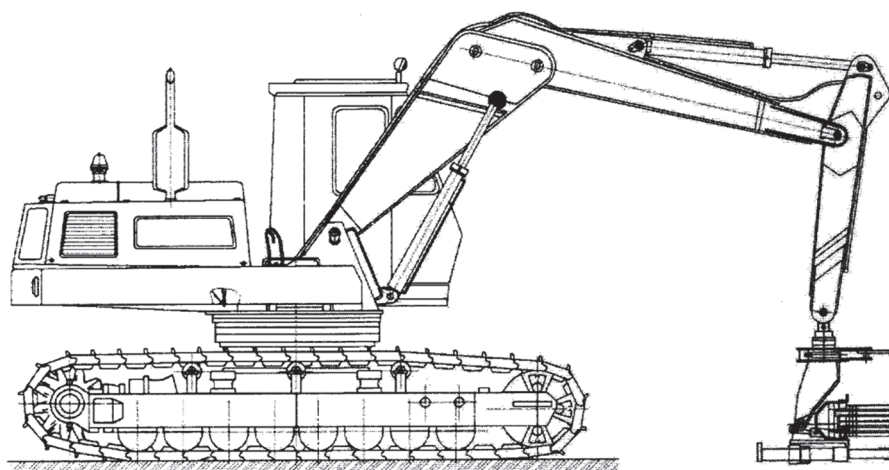


Рис. 5. Срезающе-пакетирующая машина на базе экскаватора ЭО-3223

Непростым вопросом оказалась заготовка древесно-кустарниковой растительности (ДКР) в качестве топлива на объектах мелиорации. При заготовке такой растительности применялись кусторезы с пассивным рабочим органом, что приводило к смешиванию срезанной растительности с грунтом, а это непозволительно при получении топлива. Нами предложено применять срезающие устройства типа гильотина и монтировать их в виде сменного рабочего органа на одноковшовый гидравлический экскаватор [2].

На кафедре «Строительные и дорожные машины» БНТУ для проектирования выбрано одноножевое срезающее устройство как более простое и надежное.

Проектирование ножевого срезающего устройства началось с построения компоновочно-кинематической схемы (рис. 4). Выполненные расчеты показали, что рассматриваемое одноножевое срезающее устройство может надежно работать в виде срезающе-пакетирующего рабочего органа к гидравлическому экскаватору 3-й размерной группы ЭО-3223 (табл. 1).

Таблица 1

Техническая характеристика срезающе-пакетирующей машины

Вес срезающе-пакетирующего рабочего органа, кг	550
Максимальный диаметр срезаемых деревьев, см	30–32
Максимальное раскрытие накопительных захватов, см	94
Максимальное раскрытие нижних захватов, см	93

Установка срезающе-пакетирующего рабочего органа на таком экскаваторе (рис. 5), оборудованном широкой гусеницей, позволяет, как уже отмечалось, работать на грунтах с невысокой несущей способностью.

Именно в таких труднодоступных местах сосредоточены большие запасы древесно-кустарниковой растительности.

С появлением рубильных машин на смену дровам стала приходиться щепа, как более эффективное

топливо, при условии его сжигания в специальных энергетических установках.

В Беларуси первая отечественная рубильная машина появилась по причине отказа принимать на городскую свалку кустарника и веток, удаляемых в парках и на дворовых территориях, работниками Минскзеленстроя.

В порядке выполнения задания ГНТП кафедрой строительных и дорожных машин в то время Белорусской государственной политехнической академии предложена конструкция рубильной машины МР-05, которая состоит из колесного трактора, рамы, приемного и подающего устройств, измельчителя, щепопровода, гидросистемы и пульта управления [3].

Появление такой рубильной машины дало импульс созданию более совершенных машин на Минском тракторном и Мозырском машиностроительном заводах. С увеличением объемов заготовки щепы стали появляться более мощные котельные, работающие на щепе, а соответственно, линии подачи щепы в топку этих котельных. Здесь следует отметить производителя котлов на щепе – предприятие «Белкотлопром» (г. Бешенковичи Витебской области).

На рис. 6 и 7 показаны схемы складов топлива с подвижным полом и шнековой подачей и механизма подачи со скребковым и шнековым транспортерами [4], примыкающих к котельным.

Стала проводиться большая работа по эффективному сжиганию не только чистой щепы, но и щепы с включениями листвы, хвои влажностью свежесрубленной растительности, то есть без организации предварительной подсушки до влажности менее 40%.

Ухудшение качества топлива в подавляющем большинстве проявляется повышением влагосодержания топлива до 50–55%.

При сжигании такого топлива резко увеличиваются потери тепла с дымовыми газами: на испарение влаги в топке расходуется огромное

количество теплоты горения, которая выбрасывается через дымовую трубу. С целью увеличить общую мощность и эффективнее использовать топливную щепу устанавливается конденсационный экономайзер, который утилизирует содержащиеся в дымовых газах водяные пары, охлаждая их ниже температуры точки росы (50–60°C). При конденсации водяных паров выделяется конденсационное тепло.

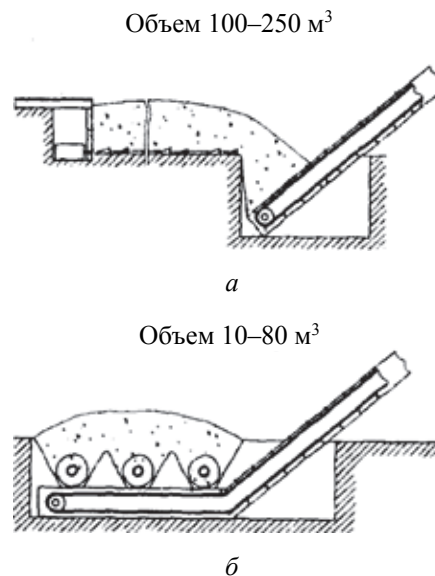


Рис. 6. Схемы складов топлива с подвижным полом (а), шнековой подачей (б) и механизма подачи со скребковым и шнековым транспортерами

Таким образом, в экономайзере образуется большое количество тепла – до 20–30% от производительности котла. Производительность конденсационного экономайзера зависит не только от содержания влаги в топливе, но и от температуры обратной воды, поступающей в экономайзер, а также от избытка воздуха в дымовых газах, существенно влияющих на температуру конденсации.

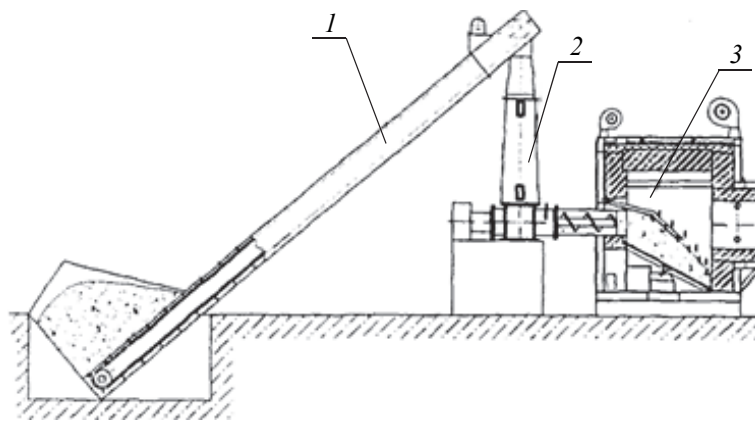


Рис. 7. Схема механизма подачи со скребковым и шнековым транспортерами: 1 – скребковый транспортер; 2 – шнековый транспортер; 3 – предтопок

Конструкцию экономайзера фирмы Enerstena составляют вертикальные водоорошаемые трубки, по которым также поступают и дымовые газы (это так называемые экономайзеры контактного типа). Теплофикационная вода подается в межтрубное пространство. Таким образом, исключается промежуточный теплообменник и улучшается эффективность экономайзера. В систему экономайзера также включено целое хозяйство по очистке конденсата – от фильтров механической очистки до системы химической нейтрализации. Часть конденсата возвращается на впрыскивающие устройства, а часть удаляется в канализационную сеть, так как соответствует всем требованиям. Другая отличительная черта рассматриваемых конденсационных экономайзеров – малое гидравлическое сопротивление (для дыма и воды), что обуславливает малый расход электроэнергии.

Для производства топливной дробленки можно рассматривать такой вид целлюлозосодержащего отхода строительного комплекса, как отслужившие свой срок деревянные конструкции и материалы на древесной основе, древесно-стружечные плиты (ДСП), древесноволокнистые плиты (ДВП) плиты МДФ и др. К деревянным обработанным конструкциям, как уже отмечалось, относят демонтированные деревянные перегородки (рис. 8), деревянные полы (рис. 9), оконные коробки и подоконники (рис. 10), старые двери (рис. 11) и т. д.

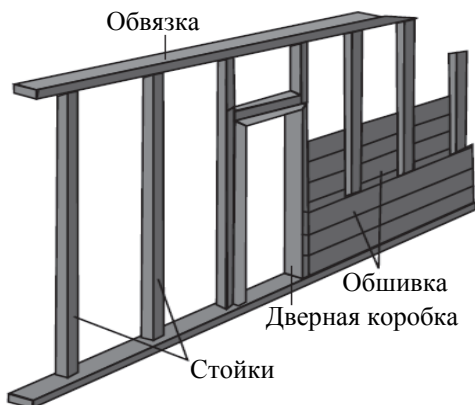


Рис. 8. Демонтированная деревянная перегородка



Рис. 9. Отходы после демонтажа пола

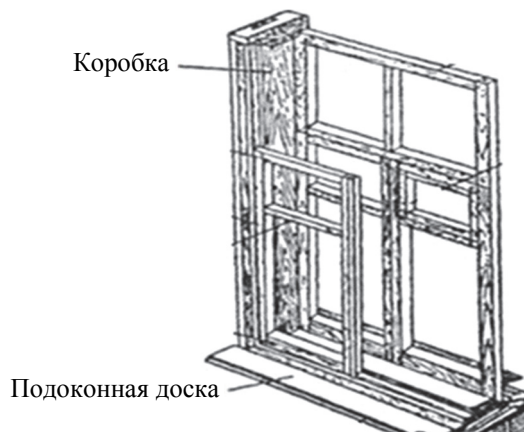


Рис. 10. Демонтированная оконная коробка



Рис. 11. Демонтированные старые двери

Все перечисленные выше отходы, например, в г. Минске, собираются и вывозятся на свалки с помощью автомобилей, снабженных технологическим оборудованием в виде съемных контейнеров или бункером с уплотняющим устройством. С помощью такого уплотняющего устройства отходы более плотно укладываются, что повышает эффективность их транспортировки.

Большим недостатком применяемой технологии обращения с отходами является постоянное увеличение объемов свалок, а также закапывание отходов, содержащих вредные для экологии вещества. Например, мебель, изготовленная из ДСП или МДФ, содержит фенолформальдегидные смолы и другие вредные вещества, закапывание которых наносит непоправимый вред окружающей среде. Поставлена задача – получить полезные продукты из отходов и при этом сохранить экологическое равновесие путем нейтрализации вредных компонентов. Имеющийся опыт подсказывает, что если целлюлозосодержащие отходы подвергнуть пиролизу в газогенераторных установках (температура около 1000°C), можно получить энергию при отсутствии вредных выбросов в атмосферу.

Сегодня на многочисленных газогенераторных установках небольшой мощности, функционирующих в Республике Беларусь, в качестве

топлива используются в основном колотые дрова, предварительно подсушенные. Такое дорогое топливо может быть замещено топливом из целлюлозосодержащих отходов строительного комплекса, влажность которых соответствует требуемой, поскольку они уже проходили сушку на этапе изготовления изделий.

Нами предлагается собранные отходы в виде старой мебели, отходов строительства везти не на свалку, а на специальную площадку (рис. 12), на которой предусмотрено место для их выгрузки 1, место для манипулятора 2 с уплотняющим устройством 5, измельчителя 3, место сбора отходов в съемные контейнеры 4 к автомобилям, снабженным системой «мультилифт» для вывозки полученного топлива потребителю, в том числе и на собственную энергоустановку 6.

В качестве измельчителя предлагается использовать дробилки шредерного типа, которые позволяют получать топливо требуемого размера из отходов строительного комплекса с наличием инородных тел (стекла, пластика, гвоздей и т. д.).

В табл. 2 приведены технические характеристики шредеров, реализуемых в России ассоциацией «Ками».

Нами проводились испытания на предмет установления возможности использования целлюлозосодержащих твердых коммунальных отходов (ТКО) с вредными включениями в качестве топлива.

Испытания проводили на газогенераторной установке (рис. 13) польской марки IRLEN, смонтированной в г. Молодечно (Минская обл.).

В такой установке осуществлялся пиролиз – первый процесс, происходящий при горении ТКО. Языки пламени, обогревающие трубы с теплоносителем внутри котла, образовывались не за счет горения самих ТКО, а за счет газов – летучих продуктов пиролиза. При пиролизе ТКО (450–500°C) образуется ряд веществ, таких как древесный уголь, метиловый спирт, уксусная кислота, смолы и др.

Возникающий древесный газ протекал через слой жара, достигал сопла и смешивался со вторичным воздухом. Температура горения данной смеси достигала 1000°C.

Именно при такой температуре экологически вредные вещества, по данным польской стороны, начинают исчезать, что и должны были показать наши испытания.

Таблица 2

Технические характеристики измельчителей целлюлозосодержащих отходов

Параметры	Марка шредера		
	LR700	LR1000	LR1400
Размер загрузочного бункера, мм	700×1050	1000×1050	1400×1050
Производительность, м ³ /ч	2–4	2–6	4–8
Частота вращения ротора, об/мин	96	27/54	96
Количество резцов, шт.	19	96	38/76
Мощность электродвигателя, кВт	18,5 (22)	22 (30) (2×18,5)	30 (2×22)
Масса, кг	1800	2400	2800 (3500)

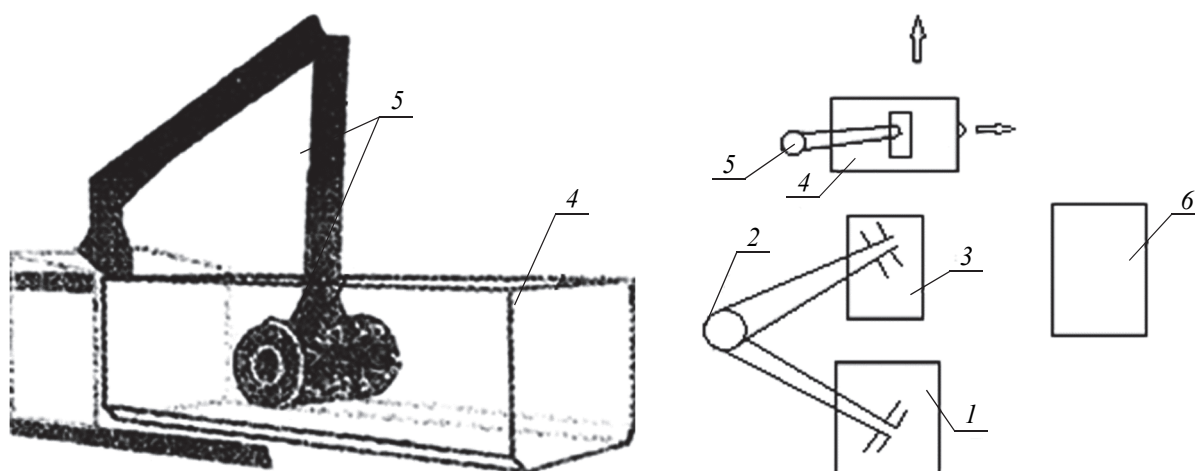


Рис. 12. Схема площадки для производства топлива из целлюлозосодержащих отходов строительного комплекса:
1 – площадка выгрузки отходов; 2 – манипулятор подачи отходов; 3 – измельчитель;
4 – съемный контейнер; 5 – установка для уплотнения топлива; 6 – энергоустановка



Рис. 13. Газогенераторы, подготовленные к испытаниям для сжигания твердых целлюлозосодержащих отходов, отходов производства и потребления с экологически вредными включениями

По результатам испытаний были разработаны технические условия «Топливо из твердых целлюлозосодержащих коммунальных отходов, отходов производства и потребления с экологически вредными включениями» ТУ ВУ 191307958/001-2017 (далее – технические условия) и представлены на государственную экологическую экспертизу в соответствии с подпунктом 1.11 пункта 1 статьи 5 Закона Республики Беларусь «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке, оценке воздействия на окружающую среду» от 18 июля 2016 г. № 399-З.

Разработанные технические условия распространяются на топливо из твердых целлюлозосодержащих отходов (далее – топливо), код 1711700, 1711704, 1712306 – 3-й класс опасности и коды 1711703, 1720200 – 4-й класс опасности, согласно классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь, утвержденному постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 8 ноября 2007 г. № 85.

Согласно техническим условиям, топливо предназначено для сжигания в газогенераторных котлах марки IRLEN. Температура горения в генераторном котле – не менее 1000°C. Использование топлива в бытовых целях не допускается.

Для сжигания предназначается топливо со следующими среднедопустимыми размерами фракций: 200×200×150 мм. Допускаются максимальные размеры 400×400×200 мм, но не более 10% от общего объема топлива.

Постепенно с совершенствованием технологии производства топлива из биомассы появились пеллеты – древесные топливные гранулы – спрессованные из предварительно высушенной и измельченной биомассы диаметром примерно 6–8 мм, длиной 4–30 мм.

Преимуществом пеллет являются высокая теплотворная способность по сравнению со щепой,

опилками и кусковой древесиной, более низкая стоимость котельного оборудования для их сжигания, небольшие объемы запасов на складах, постоянная влажность (не более 10–12%), низкая биологическая активность (не гниют, не содержат пыли и спор), не способны к самовозгоранию.

По оценкам специалистов, 100 кг пеллет соответствует 160 кг древесины, 50 л дизтоплива, 100 кг каменного угля, 70 л мазута.

Высокая закупочная цена на пеллеты странами Евросоюза (Германия, Австрия, Швеция, Дания и т. д.) привлекла внимание к их выпуску производителей из Беларуси. Способствовало этому примерно 10 лет назад накопленное и невостребованное большое количество отходов лесопиления и деревообработки, прежде всего древесных опилок. Было установлено, что примерно из 7 м³ опилок можно получить 1 т пеллет.

Идея кустарных цехов по производству пеллет из опилок была подсказана наличием неиспользуемого в то время оборудования для производимой ранее лесхозами Беларуси хвойно-витаминной муки, а аграрным сектором – травяной муки, превращаемой в гранулы.

Производство пеллет в республике стало довольно рентабельным мероприятием, поскольку оборудование цехов на вторичном рынке было недорогим, опилки практически были бесплатными, а их сушка осуществлялась все теми же незадействованными отходами деревообработки. Получаемая от реализации пеллет за рубежом прибыль позволила закупать новое, более высокопроизводительное и надежное оборудование пеллетных цехов.

За последние годы в республике построено более 10 пеллетных заводов, что привело к значительному увеличению объемов их производства. По причине нестабильного рынка реализации пеллет за рубежом, необходимо готовить всю инфраструктуру, связанную с топливообеспечением

пеллетами внутри страны. Во-первых, должна предусматриваться доставка по заявке владельца усадебного дома объема пеллет, необходимого на весь отопительный период (рис. 14).

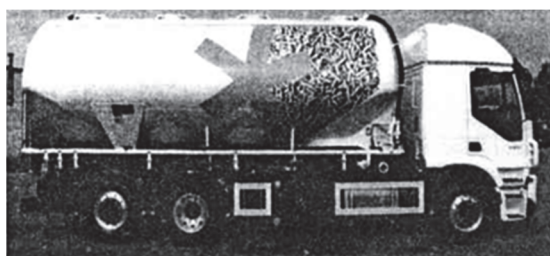


Рис. 14. Большегрузный автомобиль для доставки пеллет

Доставляемый объем топлива будет зависеть прежде всего от размера отапливаемой площади и определять размеры склада для него.

Для каждого конкретного случая можно легко определить объем топлива и размеры топливного склада, пользуясь табл. 3, в которой приведены характеристики наиболее востребованных теплогенераторов, работающих на пеллетах. Например, если размер отапливаемой площади составляет 250 м², то часовой расход топлива, согласно табл. 3, составит 2,5 кг. Тогда расход древесных гранул на отопительный сезон будет

$$2,5 \text{ кг} \times 24 \text{ ч} \times 180 \text{ дней} = 10\,800 \text{ кг.}$$

Поскольку плотность древесных гранул колеблется в пределах 630–730 кг/м³, объем, занимаемый ими на складе, составит 15–17 м³. С учетом этого объема должен проектироваться склад. Примеры известных технических решений складов пеллет и различных вариантов их подачи к энергетическим установкам приведены на рис. 15.

А вот архитектурное решение этого строения – за архитекторами-специалистами.

Одновременно возникает необходимость при проектировании генплана застраиваемой территории учитывать свободный заезд большегрузного автомобиля (рис. 14), доставляющего древесные гранулы, и возможность выгрузки топлива в склад.

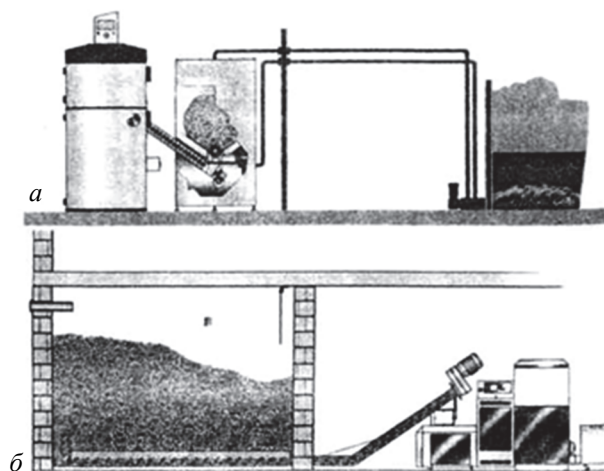


Рис. 15. Схемы установок

для получения энергии из пеллет:
а – подача пеллет с помощью пневмотранспорта;
б – подача пеллет механическим способом

Древесные гранулы должны размещаться в сухом помещении, находящемся вблизи от энергоустановки. В табл. 3 приведены габариты теплогенераторов, которые необходимо учитывать при проектировании помещений под такие энергетические установки. Сегодня теплогенераторы завозятся в страну извне, но начинается их производство и в Беларуси.

Кроме пеллет на внешнем рынке востребованы и брикеты. Применение линии ООО «Промбрикет» по производству брикетов предусматривает создание производства максимальной мощностью более 2 тыс. т прессованных брикетов в год (рис. 16).

Для функционирования производства топливных брикетов из древесных отходов необходимо приобретение следующего основного и вспомогательного оборудования: агрегата сушильного; бункера накопительного; конвейеров шнековых; лотка приема брикета; пресса брикетного; пульта управления с аппаратурой контроля и автоматики; фильтра-отстойника; воздухонагревательной установки (теплогенератора); вентиляторов; циклона с основанием.

Таблица 3

Характеристика теплогенераторов, работающих на древесных гранулах

Номинальная тепловая мощность, кВт	Размер отапливаемой площади, м ²	Расход воздуха, м ³ /ч	Потребление топлива, кг/час	Вместимость топливного бункера, кг	Потребляемая электрическая мощность, кВт	Габариты общие теплогенератора, мм
25	250	1 562	2,5	270	0,25	1230×800×1150
40	400	2 300	4	270	0,25	1410×910×1450
70	700	4 375	7	40	0,55	1610×1150×1550
100	1 000	6 250	10	340	1,0	1770×1220×2000
200	2 000	12 500	20	370	1,0	2130×1500×2600
300	3 000	18 750	30	370	1,0	3220×2345×2690

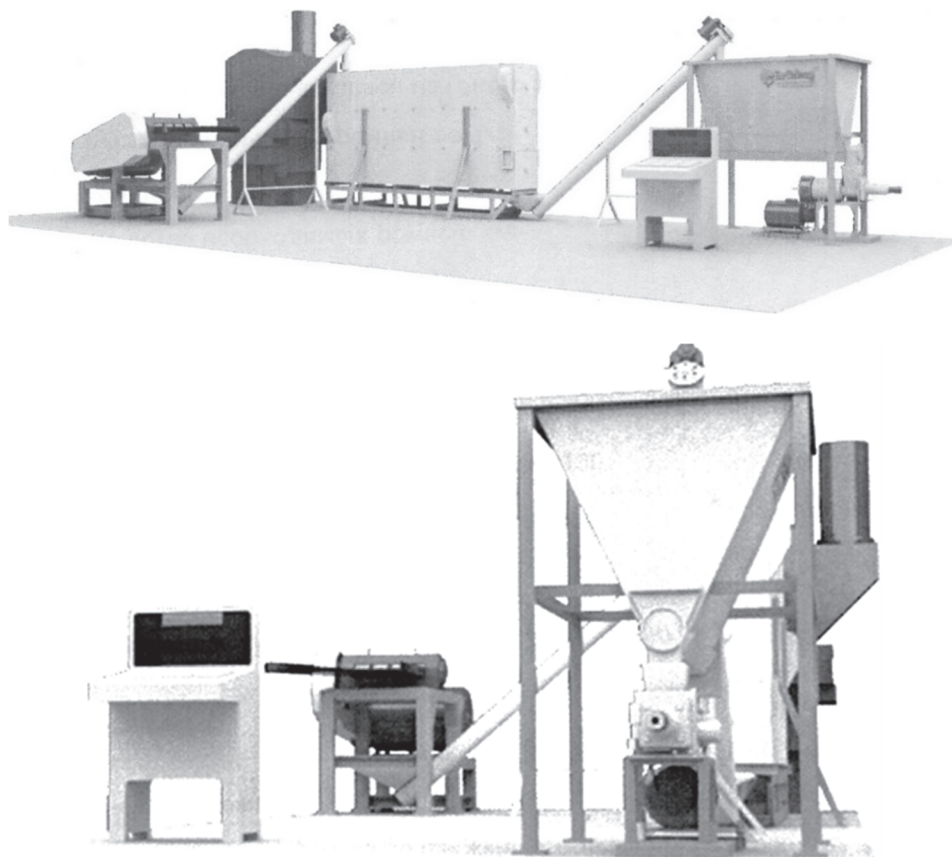


Рис. 16. Линия для брикетирования древесных отходов BRIKKEY Optima ООО «Промбрикет»

Линия по получению брикетов из древесных отходов работает следующим образом: мелко измельченные древесные отходы выгружаются на площадку внутри ангара и вручную подаются в приемный бункер конвейера, который подает сырье в сушильный агрегат. Далее сырье продвигается по длине барабана в сторону разгрузочного окна.

Воздух, нагреваемый в воздухонагревательной установке до температуры 180–200°C, движется через сушилку в том же направлении.

Воздухонагревательная установка предназначена для подогрева воздуха теплом от сжигания отходов с последующим использованием нагретого воздуха в процессе сушки при недопущении загрязнения воздуха продуктами горения.

Сушильный агрегат предназначен для удаления влаги из древесного сырья (материала) в проточном потоке горячего воздуха. Трехходовое движение материала осуществляется за счет вращения лопастей вокруг горизонтальной оси. Передвигаясь в потоке теплоносителя (воздуха) и перемешиваясь с ним, сырье постепенно высыхает. Температура на выходе из сушильного агрегата должна быть не ниже 100°C, чтобы не допустить конденсации.

На выходе из сушильного агрегата сухое сырье шнековым конвейером подается в бункер-накопитель. В этом бункере сырье постоянно

перемешивается лопастями и через отверстие в дне попадает на шнек подачи в пресс.

Регулирование подачи на шнек прессы производится изменением его оборотов. Для этого питание двигателя шнека подачи идет через частотный преобразователь, который позволяет менять частоту вращения шнека от 2 до 40 оборотов в секунду. В процессе прессования происходит уплотнение сырья рабочим шнеком и продавливание через экструдер при одновременном обжиге для получения уплотняющей поверхности.

Во время работы из экструдера непрерывно выходит по лотку приема брикетный рукав. Одновременно из лотка приема брикета идет отсос дыма и паров. По тракту этого воздуха установлен фильтр-отстойник для улавливания паров смол, выделяемых при нагреве сырья. В процессе движения по лотку брикетный рукав ломается специальным устройством на заданную длину.

Для нагрева головы экструдера установлены 4 электрических нагревателя по два на основной нагрев и на дополнительный. Включая-выключая нагреватели парами, можно поддерживать температуру 180–320°C, в зависимости от фракционности и сорта материала. Непосредственно на вход прессы поток сырья регулируется при изменении оборотов двигателя шнека подачи.

Таблица 4

Вариант комплектации линии для переработки опилок влажностью до 12% включительно

Составные части	Установленная мощность, кВт	Производительность, кг/ч	Производственная площадь, м ²
Пресс шнековый – 1 шт. Бункер накопитель – 1 шт. Конвейер винтовой – 1 шт. Щит управления – 1 шт. Лоток приема брикетов с дымоудалением и автоматической резкой брикетного рукава – 1 шт.	58	<400	150

Таблица 5

Вариант комплектации линии для переработки опилок влажностью до 60%

Составные части	Установленная мощность, кВт	Производительность, кг/ч	Производственная площадь, м ²
Пресс шнековый – 1 шт. Бункер накопитель – 1 шт. Конвейер винтовой – 2 шт. Пульт управления – 1 шт. Сушилка трехзонная – 1 шт. Теплоагрегат – 1 шт. Лоток приема брикетов с дымоудалением и автоматической резкой брикетного рукава – 1 шт.	77	<400	250

После выхода из экструдера брикетный рукав, двигаясь по приемному швеллеру, охлаждается, что приводит к отвердеванию смол и повышению прочности. При обжиге поверхности брикетного рукава возможен вынос продуктов обжига с поверхности. Для удаления из рабочей зоны пара и продуктов обжига по направлению движения брикетного рукава и охлаждения брикетного рукава приемный швеллер установлен в коробе, из которого идет вытяжка воздуха вентилятором дымоудаления [6].

Ниже приведены варианты комплектации линии в зависимости от влажности биоэнергисточника (табл. 4 и 5).

Складирование готовой продукции предусматривается на поддоны на территории производственного участка, с условием отгрузки – 1 раз в 10 календарных дней. Площадь, необходимая для хранения брикетов, составляет 130 м² при условии изготовления за 7 рабочих дней в среднем 37,5 т топливных брикетов. Для складирования и погрузочных работ возможно использование вилочного погрузчика [6].

Предприятие ООО «Промбрикет» предлагает различные компоновки линии брикетирования в зависимости от вида возобновляемого энергисточника (опилки, щепа и т. д.), его фракции

и влажности, а также желаемой производительности.

Заключение. Анализ использования древесных отходов в энергетике Беларуси показал следующее.

1. Использование дров в качестве топлива необходимо постоянно снижать, заменяя древесными отходами и увлекая их в глубокую переработку как технологическое сырье.

2. Перепрофилирование построенных ранее ТЭЦ на твердом топливе (уголь, торф) на использование щепы оказалось не совсем оправданным, так как не учитывалась при этом сырьевая топливная база (ее запасы и удаление), что зачастую приводило к большим транспортным расходам, а значит, к снижению эффективности перевода энергетики на щепу.

3. Недостаточно уделялось внимания созданию и использованию эффективных технических средств по заготовке топлива от срезания растительности до ее измельчения и получения щепы, пеллет и брикета.

4. При увеличении количества заводов в Беларуси по производству пеллет нужно отслеживать наличие эффективной сырьевой базы.

5. Необходимо в Беларуси создавать инфраструктуру по использованию пеллет, не востребованных на внешнем рынке, для реализации их внутри страны.

Список литературы

1. Вавилов А. В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов: монография. Минск: Жилкомиздат, 2018. 160 с.
2. Вавилов А. В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии: монография. Минск: Стринко, 2012. 161 с.

3. Малая энергетика на биотопливе / А. В. Вавилов [и др.]: монография. Минск: Технопринт, 2002. 247 с.
4. Вавилов А. В. Ресурсосберегающие технические средства для топливообеспечения энергетических установок на биомассе: монография. Минск: Стринко, 2006. 187 с.
5. Вавилов А. В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов: монография. Минск: СтройМедиа-Проект, 2014. 89 с.
6. Вавилов А. В. Брикетты из возобновляемых биоэнергосточников: монография. Минск: Стринко, 2013. 77 с.
7. Вавилов А. В. Энергоносители с лесосек // Лесное и охотничье хозяйство. 2000. № 1. С. 19.
8. Вавилов А. В. Технологические аспекты и оборудование для получения энергии из биотоплива // Вестник БНТУ. 2004. № 1. С. 68–73.
9. Вавилов А. В. Необходим эффективный механизм топливообеспечения энергоустановок на биомассе // Энергоэффективность. 2005. № 3. С. 7.
10. Производство топливной щепы на объектах Минскзеленстроя / А. В. Вавилов [и др.] // Городское хозяйство. 2008. № 6. С. 15–16.
11. Вавилов А. В., Пашковский М. Н., Соколовский Ю. В. Современная технология и техника для производства топливной щепы // Лесопромышленник. 2008. № 8. С. 22–23.
12. Вавилов А. В., Пашковский М. Н., Соколовский Ю. В. Разработка лесосек и других облесенных площадей с эффективной заготовкой топливной щепы из образуемых древесных отходов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 139–145.
13. Технология производства топливной щепы и системы машин для их реализации / А. В. Вавилов [и др.] // Строительные и дорожные машины. 2008. № 9. С. 20–23.
14. Вавилов А. В. Еще раз об эффективности использования местного древесного топлива // Энергоэффективность. 2008. № 4. С. 17–18.
15. Вавилов А. В. Дополнительные резервы топливной древесины и пути их использования в Беларуси // Энергоэффективность. 2009. № 5. С. 12–13.
16. Вавилов А. В., Пашковский М. Н., Соколовский Ю. В. Выбор эффективных машин для заготовки щепы на объектах «Минскзеленстроя» // Городское хозяйство. 2009. № 2. С. 19–20.
17. Вавилов А. В. Факторы, определяющие эффективность производства и использования в Беларуси конкретного вида древесного топлива // Энергоэффективность. 2010. № 5. С. 8–9.

References

1. Vavilov A. V. *TKO tsellyulozobitumosoderzhashchiye i mineral'nogo proiskhozhdeniya: polucheniye vtorichnykh produktov: monografiya* [MSW cellulose-bitumen-containing and mineral origin: obtaining secondary products: monograph]. Minsk, Zhilkomizdat Publ., 2018. 160 p. (In Russian).
2. Vavilov A. V. *Pellety v Belarusi: proizvodstvo i polucheniye energii: monografiya* [Pellets in Belarus: production and energy production: monograph]. Minsk, Strinko Publ., 2012. 161 p. (In Russian).
3. Vavilov A. V., Zhikhar G. I., Padalko L. P., Arsenov V. V., Garost M. M. *Malaya energetika na biotoplive: monografiya* [Small-scale power engineering based on biofuel: monograph]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2002. 247 p. (In Russian).
4. Vavilov A. V. *Resursosberegayushchiye tekhnicheskiye sredstva dlya toplivoobespecheniya energeticheskikh ustanovok na biomasse: monografiya* [Resource-saving technical means for fuel supply of biomass power plants: monograph]. Minsk, Strinko Publ., 2006. 187 p. (In Russian).
5. Vavilov A. V. *Toplivo iz netraditsionnykh energoresursov: monografiya* [Fuel from non-traditional energy resources: monograph]. Minsk, StroyMediaProyekt Publ., 2014. 89 p. (In Russian).
6. Vavilov A. V. *Brikety iz vozobnovlyayemykh bioenergoistochnikov: monografiya* [Briquettes from renewable bioenergy sources: monograph]. Minsk, Strinko Publ., 2013. 77 p. (In Russian).
7. Vavilov A. V. Energy sources from logging areas. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forest and hunting economy], 2000, no. 1, p. 19 (In Russian).
8. Vavilov A. V. Technological aspects and equipment for obtaining energy from bio-fuel. *Vestnik BNTU* [Bulletin of BNTU], 2004, no. 1, pp. 68–73 (In Russian).
9. Vavilov A. V. An effective mechanism of fuel supply for biomass power plants is needed. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2005, no. 3, p. 7 (In Russian).
10. Vavilov A. V. Production of fuel chips at the facilities of Minskzelenstroy. *Gorodskoye khozyaystvo* [Municipal economy], 2008, no. 6, pp. 15–16 (In Russian).
11. Vavilov A. V., Pashkovsky M. N., Sokolovsky Yu. V. Modern technology and equipment for the production of fuel chips. *Lesopromyshlennik* [Timber], 2008, no. 8, pp. 22–23 (In Russian).

12. Vavilov A. V., Pashkovsky M. N., Sokolovsky Yu. V. Development of cutting areas and other forested areas with efficient preparation of fuel chips from generated wood waste. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forestry and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 139–145 (In Russian).

13. Vavilov A. V. Technology of production of fuel chips and systems of machines for their implementation. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and road machines], 2008, no. 9, pp. 20–23 (In Russian).

14. Vavilov A. V. Once again about the efficiency of using local wood fuel. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2008, no. 4, pp. 17–18 (In Russian).

15. Vavilov A. V. Additional reserves of fuel wood and ways of their use in Belarus. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2009, no. 5, pp. 12–13 (In Russian).

16. Vavilov A. V., Pashkovsky M. N., Sokolovsky Yu. V. The choice of efficient machines for the preparation of wood chips at the facilities of “Minskze-Lenstroy”. *Gorodskoye khozyaystvo* [Municipal Economy], 2009, no. 2, pp. 19–20 (In Russian).

17. Vavilov A. V. Factors Determining the Efficiency of Production and Use of a Specific Type of Wood Fuel in Belarus. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 2010, no. 5, pp. 8–9 (In Russian).

Информация об авторе

Вавилов Антон Владимирович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Information about the author

Vavilov Anton Vladimirovich – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Forest Machines, Roads and Technologies of Timber Industry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Поступила 11.10.2021