

УДК 620.95:662.638

**А. В. Ледницкий**, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);  
**П. А. Протас**, ассистент (БГТУ)

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕССОВАННОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В данной статье авторами выполнена сравнительная размерно-качественная характеристика отходов цехов деревообработки и потоков раскряжевки сырья. Определен потенциальный объем отходов лесопиления и деревообработки для производства древесных пеллет и брикетов. Разработаны прогрессивные технологии производства прессованного древесного топлива. Сформированы перспективные системы машин и оборудования исходя из сравнительного анализа отечественных и зарубежных аналогов техники и оборудования для производства древесных пеллет и брикетов из отходов лесопиления и деревообработки на основе расчета сменной и годовой производительности. Даны практические рекомендации по производству древесных топливных гранул и брикетов.

In given article authors execute the wood waste products comparative characteristic of saw-mills and bucking raw material. The potential volume of wood waste products of saw-mills for manufacture wood pellets and wood briquettes is determined. Progressive technologies of the pressed wood fuel are developed. Perspective machines systems and the equipment are generated on the basis of the comparative analysis of domestic and foreign analogues of technics and the equipment for manufacture wood pellets and briquettes from wood waste products of saw-mills on the basis of calculation replaceable and annual production rate. Practical recommendations on manufacture of wood fuel granules and briquettes are given.

**Введение.** Истощение мировых запасов и повышение стоимости ископаемых топливно-энергетических ресурсов, возрастающие экологические требования к выбросам в окружающую среду от сжигания топлива, развитие торговли квотами на выбросы – все это послужило толчком для развития лесной биоэнергетики, в том числе и для увеличения производства и использования древесного топлива в энергетических целях. Опыт стран ближнего и дальнего зарубежья, обладающих достаточными лесными ресурсами и имеющих хорошо развитую лесоперерабатывающую промышленность, показывает, что полное и всестороннее использование древесной биомассы позволяет не только удовлетворить потребности народного хозяйства в продуктах механической и химической переработки древесины и древесных веществ, но и произвести существенный вклад в получение тепла и электрической энергии в государственном масштабе путем поставки энергетическим установкам и предприятиям древесного топлива.

В настоящее время в стране уже реализуются «Целевая программа обеспечения в республике не менее 25% объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива до 2012 года», «Государственная программа строительства энергоисточников на местных видах топлива в 2010–2015 годах», «Программа создания производств по изготовлению древесных топливных гранул (пеллет), древесного брикета и угля в организациях Министерства лесного хозяйства на 2009–2011 годы». При этом потенциал отходов лесозаготовок, лесопиления и дерево-

обработки, низкокачественной, тонкомерной и дровяной древесины для производства прессованных форм топливной продукции используется не в полном объеме. К последним относят гранулированное древесное топливо (так называемые «пеллеты») и топливные брикеты.

В настоящее время самым крупным потребителем древесных топливных гранул является Западная Европа. Мировое потребление пеллет на сегодняшний день составляет примерно 9 млн. т в год, из которых на Западную Европу приходится примерно 7 млн. т. В перспективе в течение 10 последующих лет в Европе ожидается ежегодный рост потребления пеллет примерно на 20%. Особенно популярны древесные пеллеты и брикеты в Австрии, Италии, Германии, Нидерландах, Бельгии, Финляндии, Швеции и Дании. Экспорт древесных пеллет и брикета из России в 2007 г. превысил 220 тыс. т. В Украине производством пеллет и брикета занимаются около 30 компаний. Общий объем их выпуска в 2008 г. составил около 80 тыс. т. Быстрыми темпами производство пеллет развивается и на востоке. Китай к 2020 г. намеривается производить ежегодно около 50 млн. т пеллет [1, 2].

**1. Отличительные особенности прессованного древесного топлива.** Древесные топливные гранулы, древесный брикет являются достойной альтернативой традиционным видам топлива – дровам, торфу, мазуту, дизельному и печному топливу, каменному углю. Основным конкурентом древесным пеллетам и брикету может быть природный газ. Древесные пеллеты, брикеты являются экологически чистым топливом (при их сжигании количество выделяемого в

атмосферу углекислого газа не превышает объема выбросов, образующихся при естественном разложении древесины, практически отсутствуют выбросы в атмосферу двуокиси серы и других вредных веществ), в отличие от каменного угля и дизельного топлива. Их теплотворная способность сопоставима с каменным углем. Они сравнительно дешевы и широко используются за рубежом как промышленными энергоисточниками, так и в быту.

Развитию производств древесного топливного брикета в Республике Беларусь благоприятствуют следующие факторы:

- производство древесных пеллет и брикетов можно организовать из различных видов сырья. Их можно изготавливать как из чистой древесины, так и из древесины с примесью коры. Разные пеллеты и брикеты имеют свою стоимость и востребованы на рынке;

- древесные пеллеты и брикеты можно не только экспортировать, но и использовать на внутреннем рынке. Они подходят для всех видов топок котлов на твердой древесине, могут применяться в каминах, печах, грилях, в качестве заводского топлива и для снабжения местного населения.

В сравнении с другими видами древесного топлива древесные топливные гранулы и брикеты имеют следующие преимущества:

- относительная влажность дров и щепы составляет 35–55%. Содержание влаги в пеллетах и брикетах не превышает 8–12%. Это свидетельствует о том, что теплотворная способность пеллет и брикетов составляет около 5 кВт·ч/кг, в то время как у дров и щепы около 1,5 кВт·ч/кг. То есть теплоотдача пеллет и брикетов в 3–3,5 раза больше, чем у дров и щепы;

- плотность пеллет и брикетов составляет 1200 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность 1000 кг/м<sup>3</sup>. Насыпная плотность дров 300–400 кг/м<sup>3</sup>, щепы около 200–250 кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, при перевозке пеллет и брикетов можно увеличить статическую загрузку транспортных средств в 3–4 раза.

Преимущества древесных брикетов по сравнению с пеллетами:

- для производства древесных гранул необходимо измельчить древесное сырье в однообразную мелкую пыль на специальном дополнительном оборудовании. При производстве брикетов можно использовать достаточно крупную фракцию опилок, стружки и щепы;

- для производства древесных брикетов достаточно установки брикетирующего пресса, в то время как для производства пеллет необходима установка комплекса оборудования, по стоимости превышающего брикетируочный пресс в 5–10 раз;

- оборудование для производства древесных топливных брикетов выпускается различной

производительности, в том числе и самой минимальной (от 30 кг/ч), что позволяет устанавливать его непосредственно в местах образования отходов на любых лесопильных и деревообрабатывающих производствах.

Таким образом, установка прессов для выпуска древесных топливных гранул и брикетов на предприятиях лесного комплекса открывает новые возможности в области сокращения площадей, занимаемых отходами производства, повышения пожаробезопасности и культуры производства.

**2. Сырьевой потенциал производства щепы.** Основными разновидностями древесного сырья, вовлекаемого в процесс производства прессованного древесного топлива в Республике Беларусь, являются: отходы цехов лесопиления и цехов деревообработки; низкокачественная неделовая (дровяная) древесина.

При этом основной удельный вес потребляемого сырья приходится на отходы лесопиления и деревообработки. Дровяная древесина применяется ограниченно из-за значительной стоимости. Отходы лесозаготовок по причине высокой зольности практически не используются для производства древесных пеллет и брикетов. Потенциальные объемы отходов лесопиления и деревообработки для производства древесных пеллет и брикетов в Республике Беларусь, рассчитанные на основании нормативно-справочных материалов, статистических данных и программ развития соответствующих министерств и ведомств, представлены в табл. 1 [3, 4].

Анализ данных таблицы показывает, что годовой объем отходов переработки древесины на лесопильно-деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных предприятиях республики к началу 2011 г. составил около 2,6 млн. м<sup>3</sup>. Из них кусковых отходов, требующих при переработке на современную топливную продукцию (пеллеты, брикеты, топливная щепка) измельчения на рубильных машинах, насчитывается 1,3 млн. м<sup>3</sup> – 49,14%, а так называемые «мягкие» отходы (опилки, стружка и т. п.) составляют 50,86% – приблизительно 1,33 млн. м<sup>3</sup>. В мягкие отходы включена щепка, образующаяся при производстве брусьев из пиловочника на фрезерно-брусующих станках. Если она может быть использована как сырье при производстве целлюлозы или картона, то ее необходимо исключить из «мягких» отходов.

**3. Требования, предъявляемые к качеству топливных гранул.** Древесные гранулы являются стандартизированным видом топлива, поэтому для них существуют нормативы. В Германии нормативы называются DIN (Германский промышленный стандарт). В Европе до недавнего времени пользовались немецким стандартом

DIN 51731 и Австрийским OENORM M 7135. В табл. 2 приведены основные требования к топливным гранулам европейских потребителей. В Беларуси при производстве пеллет, ориентированных

на внутренний рынок, производители соблюдают требования ТУ BY 100135477.480-2007 «Гранулы древесные топливные. Технические условия», аналогичные принятым в России ГОСТам.

Таблица 1

**Объемы образования отходов лесопиления и деревообработки в лесном комплексе Республики Беларусь в 2011 г.**

Наименование продукции	Ориентировочный объем выпуска в 2011 г.	Норма расхода сырья на ед. продукции, м <sup>3</sup>	Потребное кол-во сырья на выпуск готовой продукции, тыс. м <sup>3</sup>	Ожидаемые объемы образующихся отходов, %		
				Кусковые	Мягкие	Итого
Пиломатериалы (доски, брусья, шпалы, тара и др.), тыс. м <sup>3</sup>	2480					
В том числе пиломатериалы, произведенные на базе:						
лесопильных рам	1240	1,7	2108,0	21,4	13,8	742,0
ленточнопильных станков	940	1,4	1316,0	451,0	291,0	292,0
фрезерно-брусующих станков	300	2,1	630,0	12,4	9,8	311,0
				163,0	129,0	
				11,0	38,4	
				69,0	242,0	
Мебель			1500 (п/м)	30,0	23,5	802,5
				450,0	352,5	
Строительные детали и стандартное домостроение			900 (п/м)	13,0	18,0	269,0
				117,0	162,0	
Производство изделий из оцилиндрованной древесины			400	7,0	39,0	184,0
				28,0	156,0	
<i>Итого</i>				1278,0	1332,0	2600,5

Таблица 2

**Требования к топливным гранулам основных европейских потребителей**

Параметры	Европейские стандарты			
	DIN 51731 (Германия)	O-Norm M7135 (Австрия)	DINplus (Германия)	SS187120 (Швеция)
Диаметр, мм	4-10	4-10	-	-
Длина, мм	<50	<5d	<5d	<5d
Плотность, кг/дм <sup>3</sup>	>1,0-1,4	>1,12	>1,12	-
Влажность, %	<12	<10	<10	<10
Насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>	650	650	650	650
Брикетная пыль, %	-	<2,3	<2,3	-
Зольность, %	<1,5	<0,5	<0,5	<1,5
Теплота сгорания, МДж/кг	17,5-19,5	>18	>18	>18
Содержание серы, %	<0,08	<0,04	<0,04	<0,08
Содержание азота, %	<0,3	<0,3	<0,3	-
Содержание хлора, %	<0,03	<0,02	<0,02	<0,03
Мышьяк, мг/кг	<0,8	-	<0,8	-
Свинец, мг/кг	<10	-	<10	-
Кадмий, мг/кг	<0,5	-	<0,5	-
Хром, мг/кг	<8	-	<8	-
Медь, мг/кг	<5	-	<5	-
Ртуть, мг/кг	<1,5	-	<1,5	-
Цинк, мг/кг	<100	-	<100	-
Закрепитель, связующие материалы, %	-	<2	<2	-

**4. Прогрессивные технологические процессы производства прессованного древесного топлива.** На основании выполненного анализа способов использования отходов лесопиления и деревообработки для производства древесных гранул (пеллет) и топливных брикетов авторами в составе научного коллектива были разработаны «Типовой проект производства гранулированного древесного топлива (пеллет) из отходов лесопиления и деревообработки» и «Типовой проект производства топливных брикетов из отходов лесопиления и деревообработки», которые успешно внедрены в 2010 г. в концерне «Беллесбумпром» (акт внедрения).

При выборе технологии производства пеллет и топливных брикетов следует ориентироваться на возможность эффективной переработки древесного сырья с получением продукции требуемого качества.

*Технологический процесс производства древесных топливных гранул* представлен на рис. 1. Подлежащее переработке сырье выгружается на складе сырья 1 в зоне действия подающего механизма «подвижный пол» 2 и порционный транспортером 3 загружается в сушильный барабан 6. Туда же поступает нагретый через теплообменник теплогенератора 5 воздух, который, смешиваясь во вращающемся барабане со щепой, интенсивно ее высушивает до требуемой влажности. При необходимости в процессе сушки часть подсушенной щепы отбирается системой топливоотбора 7, включающей всасывающе-нагнетательный вентилятор, трубопроводы, циклон и бункер для подачи 4 винтовым транспортером 8. Высушенная щепка-полуфабрикат из сушильного барабана выгружается и поднимается норией 9 к циклонам и далее благодаря постоянно присутствующему пневмоэффекту в системе трубопровод – циклоны – вентилятор щепы в смеси с воздухом засасывается в циклоны 10, где отделяется от воздуха и далее насыпается в бункер-дозатор дезинтегратора 13. Очищенный от щепы воздух вентилятором 11 нагнетается в дымовую трубу 12, которая служит и для удаления горючих газов из топки. В свою очередь высушенная щепка дозировано поступает в дезинтегратор 13, размалывается до состояния грубой древесной муки и всасывающе-нагнетательным вентилятором 14 в виде древесно-воздушной смеси подается в циклон 15, расположенный над накопительно-дозировующим бункером 16 шнекового пресса 17. Накопительно-дозировующий бункер имеет перемешивающее устройство для предотвращения «слеживания» древесной муки и с помощью механизма дозированной подачи подает муку в приемное устройство пресса-гранулятора 17. В свою очередь пресс-гранулятор снабжен устройством для дозированного увлажнения

древесной муки в случае чрезмерной низкой влажности муки (ниже 8%). Из пресса-гранулятора пеллеты поступают в охлаждающий бункер, далее при необходимости просеиваются для удаления мелочи и затариваются. Пеллеты, предназначенные для розничной продажи, пакуются в мягкую тару пакетами общим весом до 20 кг, пеллеты для промышленного потребления крупными предприятиями – в «биг-беги» весом до 1000 кг. По договоренности с потребителем может быть отгрузка россыпью в транспортных единицах.

*Технологический процесс производства древесных топливных брикетов* с использованием аэродинамической сушилки и шнековых прессов представлен на рис. 2. На схеме приняты следующие обозначения: 1 – склад сырья с механизмом дозированной подачи щепы «подвижный пол»; 2 – транспортер подачи щепы в расходный бункер; 3 – расходный бункер для непрерывного обеспечения линии переработки сырьем и питания топки теплогенератора; 4 – транспортер подачи перерабатываемой щепы в аэродинамическую сушилку-диспергатор; 5 – транспортер подачи топлива в топку теплогенератора; 6 – теплогенератор; 7 – бункер-дозатор аэродинамической сушилки-диспергатора; 8 – система подачи горючих газов в аэродинамическую сушилку; 9 – аэродинамическая сушилка-диспергатор; 10 – циклоны отделения сухой древесной массы от газообразных агентов сушки; 11 – бункер-накопитель с ворошителем и автоматическими дозаторами; 12 – шнековые прессы для брикетирования древесной массы; 13 – приемные лотки; 14 – вентиляционный колпак.

В основу технологического процесса производства топливных брикетов положен современный прогрессивный метод выполнения операций сушки и измельчения перерабатываемой древесной щепы в аэродинамической сушилке – диспергаторе, в компактном аппарате единого конструктивного исполнения, заменяющего сушильный агрегат (например, барабан) и дезинтегратор (молотковую мельницу). Сушка материала обеспечивается интенсивным массо-воздухообменом, который является результатом технического решения данного аппарата. Также процесс сушки ускоряется в связи с интенсивным трением частиц друг о друга в плотном слое при движении в диспергаторе с высокой окружной скоростью. В качестве сушильного агента выступают разбавленные дымовые газы, что значительно снижает тепловые затраты на процесс сушки. Для производства топливных брикетов могут применяться устройства, аналогичные, как и при производстве пеллет (скребковые и ленточные транспортеры, теплогенераторы, загрузочные бункеры и циклоны, барабанные сушилки, дезинтеграторы, пневмоаспирационные системы и др.). Основным оборудованием линии изготовления топливных брикетов является шнековый пресс.

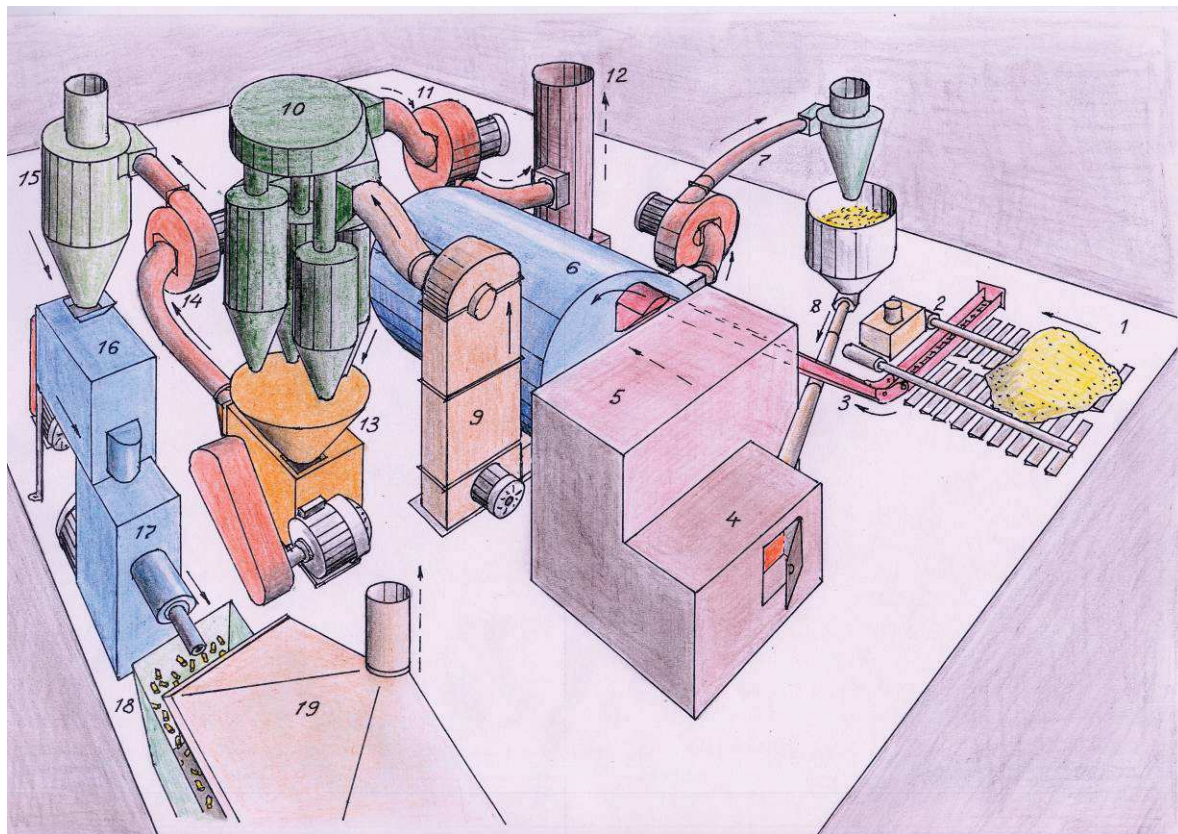


Рис. 1. Технологическая схема размещения оборудования для производства гранулированного топлива (пеллет) из измельченных отходов лесопиления и деревообработки

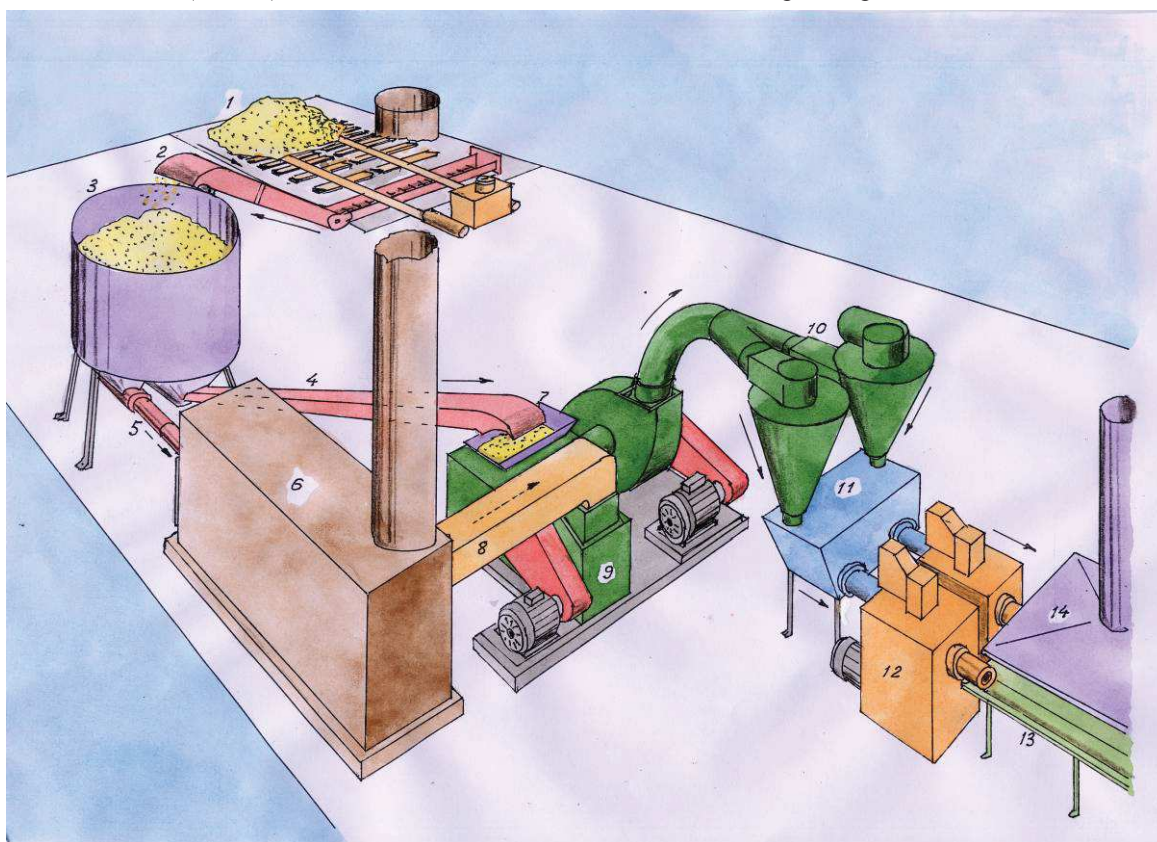


Рис. 2. Технологическая схема размещения оборудования для производства топливных брикетов из измельченных отходов лесопиления и деревообработки

Таблица 3

**Система машин для производства древесных топливных гранул**

Операции технологического процесса и показатели системы	Марка машины (оборудования)	Количество
Подача и сушка сырья	Теплогенератор ТГ-2,0	1
	Сушильный барабан АВМ-1,5	1
	Загрузочный транспортер	1
	Вытяжной вентилятор	1
	Механизированный бункер ОМБ-2,3	1
	Вертикальный транспортер-нория	1
	Воздуховоды	Комплект
Измельчение отходов	Молотковая дробилка АВМ-57	2
Гранулирование	Пресс-гранулятор ОГМ-1,5	2
	Система пневмотранспорта	Комплект
Упаковка	Бункер готовой продукции с дозатором	1
Сменный объем производства пеллет, т		16
Количество рабочих, обслуживающих систему, чел.		4
Производительность труда, т/чел.-день		4,0
Суммарные капиталовложения, тыс. дол. США		720,0
Удельные капиталовложения, дол. США/т		14,4

Таблица 4

**Система машин для производства древесных топливных брикетов**

Операции технологического процесса и показатели системы	Марка машины (оборудования)	Количество
Подача, сушка и измельчение сырья	Загрузочный транспортер	2
	Механизированный бункер ОМБ-2,3	1
	Теплогенератор ТГ-2,0	1
	Диспергатор ДР-2000	1
	Бункер-накопитель	1
Брикетирование	Пресс CF Nielsen	2
	Система пневмотранспорта	Комплект
Сменный объем производства брикетов, т		16
Количество рабочих, обслуживающих систему, чел.		4
Производительность труда, т/чел.-день		4,0
Суммарные капиталовложения, тыс. дол. США		670,0
Удельные капиталовложения, дол. США/т		13,5

**5. Формирование систем машин для производства древесных топливных гранул и брикетов.** На основании типов и марок оборудования, а также анализа и количественной оценки факторов его работы сформированы системы машин и оборудования для производства топливных гранул и брикетов (табл. 3, 4). Количество оборудования принималось исходя из его сменной производительности и технологических особенностей. В качестве базового оборудования для производства пеллет принимались пресс-гранулятор и дезинтегратор, а для производства топливных брикетов – шнековый пресс и диспергатор.

Капитальные затраты на приобретение систем машин, обеспечивающих подачу, сушку,

измельчение и прессование древесного сырья в пеллеты и брикеты представлены в табл. 2 и 3. Стоимость оборудования включает: отпускную цену производителя (на 01.01.2011 г.), расходы на доставку (2–5%), уплату налога на добавленную стоимость (20%) и таможенной пошлины (15%). В расчетах приняты курсы: 3050 руб./дол. США; 4100 руб./евро.

**6. Практические рекомендации по производству прессованного топлива.** С целью производства так называемых «светлых» пеллет и брикетов, считающихся на западных рынках более предпочтительными для приобретения при продаже в розницу по сравнению с «серыми» пеллетами и брикетами, следует стремиться к использованию теплогенераторов

с теплообменниками для сушки сырья нагретым воздухом, а не дымовыми газами (при сушке сырья дымовыми газами пеллеты и брикеты приобретают нежелательный серый оттенок и запах дыма).

При необходимости выполнять прямую работу по подъему щепы с малым или нулевым расстоянием перемещения по горизонтали целесообразно использовать конвейеры-подъемники элеваторного типа – нории. Они существенно менее энергоемки по сравнению с пневмотранспортом при равной производительности и способствуют сокращению текущих расходов.

Повышение механической прочности пеллет и брикетов значительно зависит от соблюдения режима влажности прессуемого материала непосредственно в процессе прессования, как правило, влажность прессуемой древесной массы должна быть не более 12% и не менее 8%.

При проектировании или выборе проекта цеха по производству брикетов в республике желательно предусмотреть возможную переоборудовку цеха на выпуск пеллет, и наоборот, без прибегания к долгой и капиталозатратной реконструкции с продолжительным прекращением работы установки.

При равнозначной ценности потребления как топлива брикетов и пеллет рационально отдавать предпочтение производству и применению брикетов, так как производство последних является менее затратным.

**Заключение.** Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Несмотря на относительную «молодость», рынок производства и потребления прессованного древесного топлива является весьма динамичным и привлекает внимание многих производителей оборудования и инвесторов. Так, за последние 10 лет объемы потребления древесных пеллет и брикетов в Европе возросли в 100 раз. Торговля пеллетами и брикетами приобрела международный характер. Одновременно с ростом потребления прессованного древесного топлива увеличилось количество установок для его производства и использования. Многообразие изготавливаемого оборудования требует скрупулезного анализа при его выборе, так как соответствие оборудования производственным условиям конкретного предприятия является залогом его эффективной работы.

2. Стремление исключить ручной труд на складе подготовки и подачи сырья привели к использованию гидрофицированного механизма регулируемой порционной подачи измельченного сырья («подвижный пол»), вписываю-

щегося в систему компьютеризованного управления всем технологическим процессом; конструкция и принцип работы установки позволяют его применять в широком диапазоне производительности обслуживаемой линии.

3. Тенденция к использованию более прогрессивного сушильно-измельчающего комбинированного аппарата вместо двух отдельных устройств – громоздкого сушильного барабана (или аналогичного ему устройства) и дезинтегратора (молотковой мельницы), привела к появлению диспергатора – аэродинамической сушилки.

4. В зависимости от назначения гранулированной продукции и требований рынка имеется явная тенденция к использованию в качестве сушильного агента нагретого чистого воздуха, прошедшего через теплообменник теплогенератора, или же смеси горючих газов с атмосферным воздухом.

5. Для обеспечения высокопроизводительного и надежного снабжения узлов и аппаратов производственной линии в качестве транспортирующих устройств измельченного материала все чаще применяют скребковые и ленточные транспортеры и ковшовые элеваторы – нории. Они неприхотливы в работе и обслуживании и легкодоступны для ремонта при задержках. При транспортировке материала в газовой среде незаменим пневмотранспорт – сочетание вентилятора с трубопроводом. Перемещение сыпучих материалов шнековым (винтовым) механизмом рекомендуется в случаях непрерывной дозированной подачи.

6. Из всех конструкций прессовых механизмов в последнее время производители предпочитают шнековые прессы.

\* Данное исследование выполнено в рамках проекта «Создание и развитие сетей по использованию биоэнергии в Восточной Европе».

### Литература

1. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. – Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.
2. Семенов, Ю. П. Лесная биоэнергетика: учеб. пособие / под ред. Ю. П. Семенова. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – С. 100–104.
3. Методические указания по определению объемов вторичных древесных ресурсов / ВНИПИЭИ-леспром. – М.: ВНИПИЭИ-леспром, 1988. – 18 с.
4. Федоренчик, А. С. Практикум по технологии и оборудованию комплексного использования древесины / А. С. Федоренчик, С. П. Мохов, Д. В. Клоков. – Минск: БГТУ, 2004. – С. 5–7.

*Поступила 15.03.2011*