

Производство древесных топливных гранул на предприятиях малого и среднего бизнеса

В.Г. Бурындин^a, А.В. Артемов^b, А.В. Савиновских^c

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

^a buryndinv@gmail.com, ^b artemovav@m.usfeu.ru, ^c savinovskihav@m.usfeu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, ^c <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>

Статья поступила 06.05.2022, принята 19.05.2022

Россия — одна из богатейших стран мира по запасам древесины, но коэффициент использования заготавливаемой древесины очень низок. В этой связи большое значение приобретает производство древесных топливных гранул (ДТГ). В стране насчитывается более 30 тыс. предприятий, работающих в лесной отрасли. Большинство маломощны и неспособны развивать глубокую переработку древесины, однако многим из них под силу организовать производство ДТГ из образующихся отходов, не находящихся эффективного спроса. В литературе имеются примеры производства ДТГ от 500 до 3 000 кг/ч. В России лесопилением занимаются более 25 тыс. предприятий. Малые предприятия с объемом производства до 5 000 м³/г. дают до 50 % всей продукции лесопиления. Производительность одного рабочего такого предприятия составляет 807 м³/г. Оборудование для производства ДТГ на предприятиях малого и среднего бизнеса необходимо определять исходя из указанной производительности. Количество образующихся древесных отходов от таких предприятий требует уточнения с учетом имеющегося оборудования, толщины пилы и размеров исходного древесного сырья. В работе рассмотрено получение ДТГ из различного древесного сырья (опилки, рейки и горбыль) с учетом различных вариантов производства. По результатам исследования определено, что оптимальным вариантом для предприятий малого и среднего бизнеса является выпуск гранул из сырых древесных опилок.

Ключевые слова: древесные отходы; топливные гранулы; производство; производительность.

Production of wood fuel pellets at small and medium-sized businesses

B.G. Buryndin^a, A.V. Artyomov^b, A.V. Savinovskih^c

Ural State Forest Engineering University; Siberian Tract St., 37, Ekaterinburg, Russia

^a buryndinv@gmail.com, ^b artemovav@m.usfeu.ru, ^c savinovskihav@m.usfeu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, ^c <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>

Received 06.05.2022, accepted 19.05.2022

Russia is one of the richest countries in the world in terms of wood reserves, and the utilization rate of harvested wood is very low, then the production of wood fuel pellets (WFP) is of great importance. There are more than 30,000 enterprises operating in the forest industry in the country, but most of them are low-powered, unable to develop deep processing of wood. However, many of them are able to organize the production of WFP from the waste generated by them and do not find effective demand. In the literature there are examples of the production of WFP from 500 kg/h to 3000 kg/h. In Russia, more than 25,000 enterprises are engaged in sawmilling. Small enterprises with a production volume of up to 5000 m³ per year produce up to 50% of all sawmilling products. The productivity of one worker of such an enterprise is 807 m³ per year. The equipment for the production of WFP at small and medium-sized businesses should be determined based on the specified capacities. The amount of wood waste generated from such enterprises should be specified based on the available equipment, the thickness of the saw and the size of the original wood raw materials. The paper considers the production of WFP from various wood raw materials (sawdust, slats and humpback), taking into account the various options for the production of WFP, which were considered earlier. According to the results of the work performed, the best option for obtaining WFP for small and medium-sized businesses is the option of obtaining pellets from raw sawdust.

Keywords: wood waste; fuel pellets; production; productivity.

Введение. В России технически возможно ежегодно использовать до 400 млн т (по сухому веществу) органических отходов, в том числе [1]:

- отходы сельскохозяйственного производства — 250 млн т;
- отходы лесопильной и деревообрабатывающей промышленности — 70 млн т;
- бытовые отходы городов — 60 млн т;
- осадки коммунальных стоков — 10 млн т.

В лесах России сосредоточено 82,1 млрд м³ древесины с ежегодным приростом в 994 млн м³. Потенциальный объем лесопользования составляет более 560 млн м³/г., что позволяет России без ущерба для состояния лесов в 4–5 раз увеличить объем рубок [2–4].

Поскольку Россия — одна из богатейших стран мира по запасам древесины, а коэффициент использования заготавливаемой древесины очень низок, приобретает

большое значение производство древесных топливных гранул (ДТГ).

Так, например, в Ассоциации «Вятский лес» лесозаготовки составляют 170 тыс. м³ леса, отходы от которых ~36 тыс. м³, а используются только 17 тыс. м³. Все остальное остается гнить [2].

В работе [5] показано, что в 2001–2005 гг. наблюдались быстрые темпы развития производства ДТГ. В 2005 г. было 28 заводов по производству ДТГ, в 2006 — 60, в 2007 — 120 заводов (прогноз на 2006 и 2007 гг.). Объем производства ДТГ в 2005 г. — 60 тыс. т, прогноз на 2006 — 400 тыс. т, на 2007 — 90 тыс. т.

Только в 2006 г. западноевропейские поставщики поставили в Россию оборудование более чем для 40 заводов. К этому следует прибавить 10–15 заводов, укомплектованных отечественным оборудованием или оборудованием стран СНГ и Балтии [5].

Лидером по производству ДТГ в России сегодня является Вологодская область. В Великом Устюге (Вологодская обл.) состоялся запуск четвертого завода по производству биотоплива ООО «Вологдабиоэкспорт». Завод производит древесные топливные гранулы диаметром 6–10 мм на оборудовании из Дании и Италии. Объем инвестиций — 7 млн евро, объем производства — 50 тыс. т/г.

Ранее были пущены заводы меньшей производительности в Вологде, Череповце и Вологодском районе. Продолжается строительство аналогичных производств в Кадникове, Верховажье и Соколе. В планах корпорации «Вологдалеспром» строительство еще пяти подобных заводов в различных регионах области [2].

На северо-западе страны построены заводы общей производительностью 200 тыс. т/г., однако реально производится 30–50 тыс. т/г. [6].

Ведется строительство таких заводов в Архангельской, Калужской, Тверской, Ленинградской областях, Краснодарском крае и Карелии.

Стоимость строительства таких заводов составляет от 2 до 10 млн. дол. (~58–290 млн р.) [2], по данным [3] — от 500 тыс. евро и выше. Так в Томской области реализуется производство стоимостью 500 млн р. с проектной мощностью 500 м³ гранул и брикетов в год. В Сыктывкаре действуют предприятия стоимостью 500 млн р., мощностью 20 т/г., а в Ветлужском районе — завод за 110 млн р. мощностью 50 тыс. т/г. [1].

В России производством линий для получения ДТГ занимаются различные предприятия, такие как ООО «Экодрев-Тверь», «Энергия» (Псков), «Альтернативные топливные технологии» (Екатеринбург). По данным ООО «Альтернативные топливные технологии», производство по получению ДТГ стоит порядка 5–6 млн р. [7].

Средняя производительность одного топливного завода в России — 500–600 т/мес, что соответствует примерно 30 % от средней номинальной производительности. По сравнению с Западной Европой такая средняя производительность завода считается низкой [5].

В странах Европы на сегодня активно внедряются «зеленые технологии» производства энергии из различного биотоплива, например, в Швеции уже с 2005 г. 80 % теплоснабжения базируется на возобновляемых энергоресурсах [1].

Кроме того, в некоторых странах имеются преференции и для тех, кто производит топливные гранулы, и для тех, кто их потребляет. Так в Германии владелец дома при установке котла на биотопливе одновременно получает 3 тыс. евро, в США — 2 400 дол. [2; 8].

В Финляндии решением органов власти устанавливается безвозмездная государственная помощь при реализации биоэнергетических проектов: 25–30 % от инвестиций в биоэнергетические проекты и 40 % от затрат на исследования в целях экономии энергии и другие исследования [9].

На мелких и средних лесопильных предприятиях с объемом производства 5–30 тыс. м³/г. производится более 70 % пиломатериалов. Количество таких предприятий превышает 24 тыс. [10].

По данным работ [4; 11], в стране насчитывается более 30 тыс. предприятий, работающих в лесной отрасли, но большинство из них маломощны и неспособны развивать глубокую переработку древесины, однако многим под силу организовать производство ДТГ из образующихся отходов, не находящихся эффективного спроса.

Свердловская область в лесопромышленном комплексе страны занимает 4-е место по производству фанеры, 6-е место по производству пиломатериалов, 10-е место по заготовке древесины. Развитие лесной промышленности определяется Стратегией развития лесопромышленного комплекса области [12].

Производительность пилорамы (дисковой или ленточной) зависит от марки пилорамы, исходного сырья и режима работы предприятия.

Предприятия малого и среднего бизнеса в своем арсенале оборудования имеют горизонтальные лесопильные станки производительностью 5–10 м³ в смену. Данные станки дают хороший коэффициент выхода материала и возможность индивидуального раскроя каждого бревна, но они имеют меньшую производительность, чем дисковые и рамные пиломатериалы [13].

Так дисковая пила марки СПР-1100 имеет производительность 2,9 м³/ч по круглому лесу; СМ-160 — 7 м³/ч; СМ-200 — 10 м³/ч. Пилорама «Барс-ДГ» дает производительность по необрезной доске 2,5 м³/ч. К примеру, на одной ленточной пилораме «Гравитон-КЛГ-05» можно за две смены в день распилить 20 м³ бревен и получить 14 м³ обрезной доски. При этом получается 6 м³ отходов (3 600 кг), из них опилок ~2,4 м³ (1 440 кг).

Для переработки всех отходов в гранулы потребуется гранулятор производительностью 225 кг/ч (3 600 : 16 = 225), а для переработки в гранулы только опилок — 90 кг/ч (1 440 : 16 = 90), или 6,4 ч работы гранулятора (225 кг/ч).

Соответственно, и другое сопутствующее оборудование для производства ДТГ на предприятиях малого и среднего бизнеса будет выбираться, исходя из этой производительности.

Методика исследования. Рассмотрим расчет производительности гранулятора для утилизации отходов, образующихся на небольших лесопилках.

Для примера примем в расчет лесопилку, состоящую из двух пилорам производительностью 300 м³/мес каждая. Режим работы — 5 дней в неделю по 8 ч в сме-

ну ($5 \times 8 \times 4 = 160$ ч в месяц). Производимый продукт — обрезные доски.

При этом будут образовываться древесные отходы, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Древесные отходы при производстве обрезной доски

Вид отхода	Размерность		
	%	м ³	кг
Опилки	12	72	40 680
Рейки	14	84	47 460
Горбыль	6	36	20 340
Итого	32	192	108 480

* Принимаем плотность стволовой древесины при стандартной влажности 12 % 565 кг/м^3 [14].

Количество отходов необходимо уточнить, исходя из имеющегося оборудования, толщины пилы и размера исходного древесного сырья.

Рассмотрим три варианта получения ДТГ:

1. Только из опилок;
2. Из опилок и реек;
3. Из опилок, реек и горбыля.

Определяем производительность гранулятора (табл. 2) при работе гранулятора 160 ч/мес (см. выше).

Таблица 2. Производительность гранулятора в зависимости от перерабатываемых древесных отходов

Вид сырья	Количество сырья, кг	Производительность гранулятора, кг/ч
Только из опилок	40 680	255
Из опилок и реек	88 140	550
Из опилок, реек и горбыля	108 480	678

При работе одной пилорамы необходимая производительность уменьшится в 2 раза, соответственно, до ~127; 276 и 340 кг/ч.

Необходимый набор оборудования и себестоимость ДТГ будут различны для каждого из трех вариантов.

1. Для первого варианта необходимо, кроме гранулятора, иметь только сушилку для сушки опилок. Расход энергии на сушку древесины зависит от вида древесины, ее исходной влажности, типа сушилки, режимов сушки и т. п. [15; 16]. Кроме того, сушка необходима для увеличения энергетической плотности топлива [17].

2. Для второго варианта необходимо иметь еще дробилку для измельчения реек в частицы размером менее 5 мм. Расход энергии на рубку древесины (получение щепы) невелик, так как она производится режущими инструментами (ножами). Однако использовать непосредственно щепу на гранулирование невозможно, потому что ее размеры велики (10–40 мм). Поэтому щепу должна еще пройти стадию дробления или получения из нее мелкой стружки. Затраты энергии на измельчение в дробилках велики, так как там происходит размол с помощью ударов тупыми деталями (билами) [18].

3. Для третьего варианта необходимо иметь гранулятор, сушилку, дробилку и рубительную машину для получения щепы. Можно вместо рубительной машины

установить стружечный станок для получения стружки из горбыля, а затем стружку пропускать через дробилку. Третий вариант можно не рассматривать, если горбыля мало или он находит сбыт. При этом рубительная машина не понадобится.

В этом случае себестоимость ДТГ зависит от многих факторов, таких как:

- исходное сырье (его размеры, влажность, стоимость);
- оборудование (его производительность, стоимость, качество (срок амортизации));
- источник энергии для сушки исходного сырья (его стоимость);
- стоимость электрической энергии в данном регионе, используемой для работы оборудования;
- стоимость производственных площадей или стоимость их аренды;
- размер заработной платы обслуживающего персонала;
- размер налогов;
- накладные расходы и др.

Так, по данным ООО «АТТ» [7], при производстве ДТГ на отечественном оборудовании на линии производительностью 1 т/ч себестоимость составляет 0,6–0,9 р./кг. Рентабельность биотопливных производств не менее 15 % [5].

В работе [19] рассмотрены 4 варианта производства ДТГ с различной производительностью (табл. 3).

Таблица 3. Варианты производства ДТГ

Показатели	Варианты			
	1	2	3	4
Производительность, кг/ч	500	500	2 000	4 000
Стоимость исходного сырья, р./т	150	150	150	150
Срок амортизации оборудования, гг.	2	2	4	4
Себестоимость, евро/т	91	70	40	38
Себестоимость, р./кг	9,0	6,93	3,96	3,75

* Исходное сырье — опилки и кусковые отходы (во всех вариантах). Источник тепла для сушки сырья — древесные отходы естественной влажности. Гранулятор российского производства (варианты 1, 2); гранулятор «ОГМ» (Литва) — вариант 3; гранулятор «СПМ» (Голландия) — вариант 4.

Примечание. Принимаем курс 1 € равным 90 р.

Цена ДТГ очень сильно колеблется в зависимости от места их потребления (покупки). Так, например, цена ДТГ за рубежом значительно выше, чем в России. Спрос на ДТГ за рубежом колоссальный. Начиная с августа-сентября, цены на биотопливо на европейском рынке ежегодно повышаются [5; 20].

По регионам России также наблюдаются существенные колебания цен на ДТГ.

По качеству ДТГ делят на два сорта — промышленные и бытовые. Промышленные перевозятся навалом в больших емкостях (кузов машины, цистерна и т. п.) или в мягких контейнерах (биг-бэги) по 500–1000 кг, быто-

вой сорт — в мягких контейнерах или мешках массой 15–25 кг.

Цены на промышленные ДТГ в ряде европейских стран (Австрия, Англия, Германия, Дания, Италия, Испания, Польша, Финляндия, Швеция) составляет 130–180, а бытовых — 200–300 евро за тонну [20].

Примерные цены на промышленные и бытовые ДТГ указаны в табл. 4.

Таблица 4. Цены на промышленные и бытовые ДТГ

Место продажи	Стоимость, р./кг	
	Промышленные	Бытовые
Германия	5,94	8,25
Европа	4,3–5,9	6,6–9,9
Россия	2,7–3,0	–

Источники: [3; 21].

На территории Свердловской области эксплуатируется более 250 котельных, работающих на мазуте, нефти, электричестве [22]. Себестоимость топливной энергии, вырабатываемой на таких котельных, достигает 2 500 р. за 1 Гкал при среднерегиональной — 600–650 р.

Большинство этих котельных переводятся в настоящее время либо будут переведены в ближайшей перспективе на местные виды топлива (дрова, опилки, отходы лесной промышленности, торф и др.). Себестоимость 1 Гкал тепла, тогда составит:

- на дровах, опилках — 400–450 р.;
- на торфе — 600–700 р. [22].

Только в 2005 г. переведены на альтернативные и местные виды топлива 34 электрочотельные:

- на дрова — 16 котельных (11,26 МВт);
- на торф — 2 (1,2 МВт);
- на уголь — 16 (2,27 МВт).

Топливная составляющая в себестоимости 1 Гкал топливной энергии в среднем составляет:

- на электрочотельных — 1 500 р. (до 2 300 р.);
- на угольных котельных — 500 р.;
- на местных видах топлива (дрова, торф, опил) — 250 р. [22].

По данным [23], при цене древесного топлива 220 р./пл. м³ годовые эксплуатационные затраты ТЭЦ составят 21,6 млн р., годовое потребление древесного сырья — 47 тыс. пл. м³. ТЭЦ вырабатывает 6 250 кВт*ч электроэнергии и 50 тыс. Гкал тепловой энергии. При этом себестоимость составит: электрической энергии — 0,66 р./кВт*ч; тепловой энергии — 349 р./Гкал [23].

Естественно, что стоимость тепла, получаемого из различных видов топлива, различна и зависит от стоимости сжигаемого сырья и его теплотворной способности.

Если не учитывать затраты на сжигание (способ сжигания, амортизационные отчисления на устройство для получения тепла, заработная плата обслуживающего персонала и т. п.), то зависимость между стоимостью исходного сырья и стоимостью энергии, получаемой при его сжигании, можно представить графически (рис.).

Например, если мы хотим получить стоимость тепла не более 0,2 р./МДж, то стоимость 1 кг сырья должна быть не более: солома — 2,0 р.; торф — 2,5; дрова — 3,0; ДТГ — 3,8; каменный уголь — 5,1; мазут — 8 р.

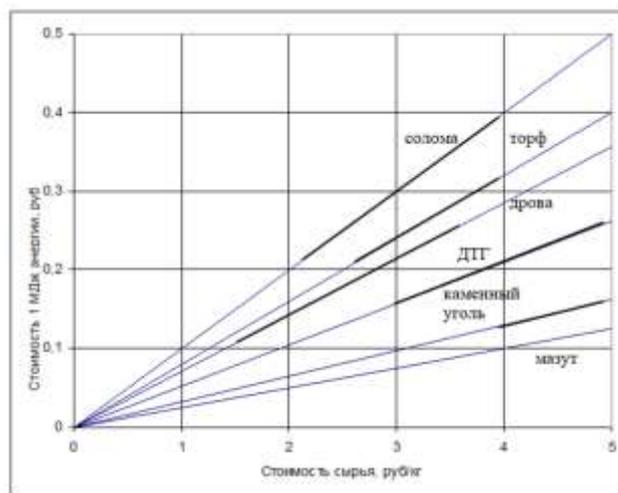


Рис. Зависимость стоимости 1 МДж тепла от стоимости топлива (жирными линиями обозначена наиболее вероятная цена сырья)

Внедрение газопоршневых установок для выработки тепловой и электрической энергии позволяет увеличить коэффициент использования газа с 37 до 69 %. Себестоимость электрической энергии, вырабатываемой на таких установках, составляет 47–65 коп. за 1 кВт*ч [22].

Стоимость сырья для производства ДТГ зависит от места, где организуется производства этих гранул.

Если это предприятие, где образуются отходы, и для избавления от них требуются затраты, то при производстве ДТГ составляющая затрат на сырье в стоимости гранул будет со знаком «плюс» (отрицательная стоимость).

Затраты на сырье в себестоимости будут существенными, если оно покупное и привозное.

Стоимость сырья зависит от его вида (опилки, стружки, щеп, горбыль, обрезки, тонкомер, сучья, дровяная древесина и т. п.) и влажности [18; 24].

Для предприятий, ведущих заготовку древесины, себестоимость топлива из дровяной древесины составляет от 100 до 250 р./пл. м³ [23].

В лесном комплексе средняя себестоимость одного кубометра заготовки и вывозки леса составляет 450–480 р., у бюджетников она не превышает 400 р. Зарплата на лесозаготовке и вывозке в среднем по лесному комплексу Свердловской области составляет 108 р. за кубометр. Средняя выработка на лесозаготовке достигает 500 м³ в год на одного работающего [25].

При лесопилении выработка на 1 рабочего в год составляет 807 м³ на предприятии с объемом производства до 5 тыс. м³ и 1 226 м³ — на предприятии до 50 тыс. м³/г. [26].

Затраты человеческого труда на выполнение основного технологического процесса, подготовительных, вспомогательных работ, ремонта и обслуживания техники можно выразить в единицах энергии. Оценка человеческого труда в энергетических единицах предложена С.А. Подолинским. Обобществленный энергетический эквивалент человеческого труда в промышленности представляет собой величину, равную 1,9 кг·у.т/чел.ч (15,46 кВт/чел.ч) [27].

Исходным сырьем для производства ДТГ может стать щеп, но не в виде отходов какого-то лесопильного и деревообрабатывающего производства [3]. Ще-

па — это специально изготавливаемый продукт, имеющий определенные свойства и цену и удовлетворяющий определенным свойствам, установленным нормативным документам.

В зависимости от назначения щепы она подразделяется следующим образом:

– технологическая щепка из древесных отходов для целлюлозно-бумажного и гидролизного производства, а также производства ДВП, ДСТП согласно ГОСТ 15815-83 «Щепка технологическая. Технические условия»;

– топливная щепка согласно ГОСТ 55116-2012 (ЕН 14961-4:2011) «Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 4. Щепка для не промышленного использования».

Щепу получают путем измельчения (рубки) на рубильных машинах цельных бревен (балансы) — как неокоренного, так и окоренного тонкомера, вершинок, сучьев, горбыля, срезки и проч.

Существенную долю в себестоимости щепы составляют транспортные расходы. В работе [28] указана зависимость стоимости щепы от объема, дальности перевозки и марки щеповоза. Себестоимость выработки щепы колеблется в пределах от 46 до 92 р./м³.

Топливную щепу изготавливают, в том числе, прямо на лесосеке [29], в полевых условиях, где окашивают и рубят деревья в щепу с использованием дробильных установок *Peterson Pacific* (Канада). Оборудование смонтировано на передвижной платформе.

Широко используются для получения щепы передвижные рубильные установки — как зарубежные [30; 31], так и отечественные [32]. На таких установках получают щепу в том числе из кустарника, растущего вдоль железных и шоссейных дорог, под высоковольтными линиями передач и т. п.

Выводы. В литературе даются примеры производства ДТГ от 500 до 4 тыс. кг/ч.

Литература

1. Гришконец Е. Высокоотходный бизнес. В России развивается производство биотоплива // Рос. лесная газета. 2006. № 12-13 (142-143). С. 7.
2. Гревцов А. Полмиллиарда рублей сели на мель. Маловодье на Северной Двине сорвало заготовителям поставки древесины и лишило сырья переработчиков // Рос. лесная газета. 2006. № 20-21 (150-151). С. 2.
3. Ракитова О.С., Овсянко А.Д., Александрова С.Е., Ракитова О.С., Овсянко А.Д., Александрова С.Е. Древесная топливная гранула в России и СНГ: справ. СПб.: НП «Конфедерация объединений, предприятий и орг. лесопром. комплекса Северо-Запада», 2005. 124 с.
4. Важенина К. Три камня в процветании отрасли // Лесной эксперт. 2006. № 6 (35). С. 50-52.
5. Овсянко А.Д. Биоэнергетика в России: точки роста // Лесной эксперт. 2006. № 6 (35). С. 16-18.
6. Трутнев Ю. Древесину - в оборот. Правительство РФ одобрило предложения МПР России по развитию лесного комплекса страны // Рос. лесная газета. 2005. № 45-46 (123-124). С. 2.
7. Васин Л. Мы год занимались только просветительной работой // Рос. лесная газета. 2006. № 12-13 (142-143). С. 7.
8. Рошупкин В. Биоэнергетика незаслуженно обделена вниманием // Рос. лесная газета. 2006. № 12-13 (142-143). С. 7.
9. Сандецкий В. Биотопливо - энергия XXI века // Дерево RU. 2006. № 5. С. 28-31.

В России лесопилением занимаются более 25 тыс. предприятий. Малые предприятия с объемом производства до 5 тыс. м³ в год дают до 50 % всей продукции лесопиления. Производительность одного рабочего такого предприятия составляет 807 м³/г.

Если принять [15] нормы расхода сырья 2,3–2,4 м³ на 1 м³ пиломатериалов, то пиломатериалов получается 2 128 м³, а отходов — 2 872 м³, из них опилок — 344,6 м³ (12 %), горбыля — 287 м³ (10 %), рейки — 201 м³ (7 %) [15].

Если все отходы потреблять в гранулах, то можно получить примерно 1 723 т (2872х600 = 1 723 200 кг) гранул, из опилок — 206,76 т (344,6х600 = 206 760 кг). Принимая 230 рабочих дней в году по 8 ч, фонд рабочего времени — 1 840 часов в год. Производительность гранулятора при этом составит 936,5 кг/ч (1 723 200 : 1 840 = 936,5) при переработке всех отходов в гранулы и 112,4 кг/ч (206 760 : 1 840 = 112,4) — при превращении опилок в гранулы.

Возвращаясь к варианту V (получение гранул из сырых опилок) [18], определим количество энергии, которую необходимо затратить на производство гранул:

- сушка — 938 Вт/кг;
 - фракционирование — 1 Вт/кг;
 - гранулирование — 95 Вт/кг;
 - подогрев опилок при гранулировании — 78 Вт/кг.
- Итого: 1 112 Вт/кг (~1,11 кВт).

Таким образом, вариантом получения ДТГ, оптимальным для предприятий малого и среднего бизнеса, является получение гранул из сырых опилок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта "FEUG-2020-0013"

10. Реутов Ю.М. Решение проблемы сортировки лесоматериалов для средних и малых лесопильных предприятий // Лесной эксперт. 2006. № 6 (35). С. 30-33.
11. Викторов Н. Гранулирование древесных отходов // Дерево RU. 2003. № 6. С. 22-23.
12. Прядилина Н.К., Стариков Е.Н., Мезенцева Е.С. Современное состояние и перспективы развития лесопромышленного комплекса Свердловской области // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 2 (26). С. 193-204.
13. Иванов Д.В. Использование различного бревнопильного оборудования для производства пиломатериалов на малых предприятиях // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2003. № 5. С. 86-93.
14. Голиков С.И., Коперин И.Ф., Найденев В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 224 с.
15. Буриндин В.Г., Артемов А.В., Савиновских А.В. Влажность древесного сырья для получения топливных гранул // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 3 (51). С. 73-77.
16. Плотников Н.П., Чельшева И.Н. Пути утилизации отходов деревообрабатывающих производств // Труды Братского гос. ун-та. Сер. Естественные и инженерные науки. 2021. Т. 1. С. 97-99.
17. Li Y.D., Liu H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel // Biomass Bioenergy. 2000. № 19 (3). P. 177-186.
18. Буриндин В.Г., Артемов А.В., Савиновских А.В. Сырье и оборудование для получения древесных топливных гранул // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 118-125.

19. Еськов В. Древесные топливные гранулы (часть IV) // Дерево RU. 2005. № 5. С. 31-33.
20. Пеллетный рынок Германии и Австрии: все больше россиян? // ЛесПромИнформ. 2014. № 2 (100). С. 164-166.
21. Митин С.Г., Орси́к Л.С., Сорокин Н.Т. Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития: научный аналитический обзор. М.: Рос. науч.-исслед. ин-т информации и технико-экономических исслед. по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2007. 204 с.
22. Система управления экологической безопасностью: учеб.-метод. материалы межвузовского семинара. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 125 с.
23. Левин А.Б., Суханов В.С. Собственная энергия дешевле покупной // ЛесПромИнформ. 2005. № 2. С. 86-89.
24. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Бурмистрова Д.Д., Тихонов Е.А. Теоретический анализ процесса брикетирования измельченных древесных материалов в условиях лесного терминала // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 9. С. 25-33.
25. Шапкина И.М., Кожурин С.И. Пути снижения себестоимости лесозаготовок // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2008. № 7. С. 139-140.
26. Леснова А. От топора до компьютера: о состоянии и перспективах развития лесопиления в России // ЛесПромИнформ. 2006. № 3 (34). С. 112-115.
27. Газеева Е.А. Энергетический подход в оценке эффективности технологических процессов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: тр. V Междунар. евразийского симпозиума (25-28 мая 2010 г.). Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. С. 42-46.
28. Цивенкова Н.М., Самылин А.А. Проблемы заготовки древесной щепы для энергетических целей // ЛесПромИнформ. 2005. № 9 (31). С. 64-69.
29. Инновационный метод производства щепы на лесосеках // ЛесПромИнформ. 2006. № 4 (35). С. 72-75.
30. Рубильная машина высокой производительности Farmi Forest CH 260 // ЛесПромИнформ. 2005. № 8 (30). С. 90-91.
31. Производство коммерческой щепы: рубильная машина Farmi Forest CH 260 // ЛесПромИнформ. 2006. № 4 (35). С. 80-82.
32. Салюга А.А. Ресурсосберегающая технология производства щепы: экспресс информ. Плиты и фанера. М.: ВНИПИЭИ леспром, 1991. Вып. № 4. С. 32-36.
9. Sandeckij V. Biofuels - the energy of the XXI century // Derevo RU. 2006. № 5. P. 28-31.
10. Reutov YU.M. Solving the problem of sorting timber for medium and small sawmills // Lesnoj ekspert. 2006. № 6 (35). P. 30-33.
11. Viktorov N. Granulation of wood waste // Derevo RU. 2003. № 6. P. 22-23.
12. Pryadilina N.K., Starikov E.N., Mezenceva E.S. Current state and prospects for the development of the timber industry complex of the Sverdlovsk region // Forestry Engineering Journal. 2017. V. 7. № 2 (26). P. 193-204.
13. Ivanov D.V. The use of various log-sawing equipment for the production of lumber in small enterprises // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2003. № 5. P. 86-93.
14. Golikov S.I., Koperin I.F., Najdenov V.I. Energy use of wood waste. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 224 p.
15. Buryndin V.G., Artemov A.V., Savinovskih A.V. Humidity of wood raw materials for the production of fuel pellets // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 3 (51). P. 73-77.
16. Plotnikov N.P., CHelysheva I.N. Ways of recycling waste from woodworking industries // Trudy Bratskogo gos. un-ta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki. 2021. V. 1. P. 97-99.
17. Li Y.D., Liu H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel // Biomass Bioenergy. 2000. № 19 (3). P. 177-186.
18. Buryndin V.G., Artemov A.V., Savinovskih A.V. Raw materials and equipment for the production of wood fuel pellets // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 2 (50). P. 118-125.
19. Es'kov V. Wood Fuel pellets (chast' IV) // Derevo RU. 2005. № 5. P. 31-33.
20. The pellet market in Germany and Austria: more and more Russians? // LesPromInform. 2014. № 2 (100). P. 164-166.
21. Mitin S.G., Orsik L.S., Sorokin N.T. Bioenergy: world experience and development forecasts: nauchnyy analiticheskij obzor. M.: Ros. науч.-issled. in-t informacii i tekhniko-ekonomicheskikh issled. po inzhenerno-tekhnicheskomu obespecheniyu agropromyshlennogo kompleksa, 2007. 204 p.
22. Environmental Safety Management System: учеб.-метод. материалы межвузовского семинара. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 125 p.
23. Levin A.B., Suhanov V.S. Own energy is cheaper than purchased // LesPromInform. 2005. № 2. P. 86-89.
24. Kunickaya O.A., Pomiguyev A.V., Burmistrova D.D., Tihonov E.A. Theoretical analysis of the process of briquetting crushed wood materials in a forest terminal // Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization). 2021. № 9. P. 25-33.
25. SHapkina I.M., Kozhurin S.I. Ways to reduce the cost of logging // Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU. 2008. № 7. P. 139-140.
26. Lesnova A. From an axe to a computer: about the state and prospects of sawmilling development in Russia // LesPromInform. 2006. № 3 (34). P. 112-115.
27. Gazeeva E.A. Energy approach in evaluating the efficiency of technological processes // Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka: tr. V Mezhdunar. evrazijskogo simpoziuma (25-28 maya 2010 g.). Ekaterinburg: UGLTU, 2010. P. 42-46.
28. Civenkova N.M., Samylin A.A. Problems of harvesting wood chips for energy purposes // LesPromInform. 2005. № 9 (31). P. 64-69.
29. Innovative method of wood chips production in logging areas // LesPromInform. 2006. № 4 (35). P. 72-75.
30. High performance chopping machine Farmi Forest CH 260 // LesPromInform. 2005. № 8 (30). P. 90-91.
31. Production of commercial wood chips: Farmi Forest CH 260 chopping machine // LesPromInform. 2006. № 4 (35). P. 80-82.
32. Salyuga A.A. Resource-saving chip production technology: ekspress inform. Plity i fanera. M.: VNIPIEI lesprom, 1991. Vyp. № 4. P. 32-36.

References

1. Grishkovec E. Highly waste business. Biofuel production is underway in Russia. // Ros. lesnaya gazeta. 2006. № 12-13 (142-143). P. 7.
2. Grevcov A. Half a billion rubles ran aground. Low water on the Northern Dvina disrupted the supply of wood to the harvesters and deprived the processors of raw materials // Ros. lesnaya gazeta. 2006. № 20-21 (150-151). P. 2.
3. Rakitova O.S., Ovsyanko A.D., Aleksandrova S.E., Rakitova O.S., Ovsyanko A.D., Aleksandrova S.E. Wood fuel pellets in Russia and the CIS: sprav. SPb.: NP «Konfederatsiya ob"edinenij, predpriyatij i org. lesoprom. kompleksa Severo-Zapada», 2005. 124 p.
4. Vazhenina K. Three stones in the prosperity of the industry // Lesnoj ekspert. 2006. № 6 (35). P. 50-52.
5. Ovsyanko A.D. Bioenergy in Russia: points of growth // Lesnoj ekspert. 2006. № 6 (35). P. 16-18.
6. Trutnev YU. Wood is in circulation. The Government of the Russian Federation approved the proposals of the Ministry of Natural Resources of Russia on the development of the forest complex of the country // Ros. lesnaya gazeta. 2005. № 45-46 (123-124). P. 2.
7. Vasin L. For a year we were engaged only in educational work // Ros. lesnaya gazeta. 2006. № 12-13 (142-143). P. 7.
8. Roshchupkin V. Bioenergetics is undeservedly deprived of attention // Ros. lesnaya gazeta. 2006. № 12-13 (142-143). P. 7.