

## Сырьё и оборудование для получения древесных топливных гранул

В.Г. Бурындин<sup>a</sup>, А.В. Артёмов<sup>b</sup>, А.В. Савиновских<sup>c</sup>

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, Екатеринбург, Россия

<sup>a</sup> buryndinv@m.usfeu.ru, <sup>b</sup> artemovav@m.usfeu.ru, <sup>c</sup> savinovskihav@m.usfeu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>

Статья поступила 05.04.2021, принята 15.04.2021

*Стоимость различных видов топлива значительно колеблется по регионам страны и изменяется во времени. Исходя из анализа древесного сырья, предполагаемого к переработке в гранулы, объёма производства, должен разрабатываться технологический процесс и подбор оборудования. Следовательно, при выборе варианта технологии производства топливных гранул необходимо знать стоимость различных видов топлива в данном регионе на данный момент времени и тенденцию её изменения в будущем. Одним из основных показателей оптимальности варианта технологического процесса получения древесных гранул является количество энергии, расходуемой на производство гранул. При этом должно выполняться условие, при котором количество энергии, затрачиваемой на производство гранул, было бы значительно меньше той энергии, которую выделяет гранулируемый материал при его сжигании. Эту энергию называют теплота сгорания (теплотворная способность или калорийность топлива). Древесина обладает высокой теплотворной способностью. Одна тона древесины при сгорании выделяет ~18000 МДж или 5000 кВт энергии. Технологические схемы получения топливных гранул состоят из комбинаций следующих технологических операций: гранулирование, фракционирование, измельчение, получение щепы. Исходя из видов исходного сырья (дровяная древесина, тонкомер, горбыль, щепка, срезка, сучья, ветки кустарников, стружка, опилка и др.), а также зная его объёмы производства и стоимость сырья с учетом транспортных расходов до места гранулирования, нужно определиться с технологией производства и подбором оборудования.*

**Ключевые слова:** древесные отходы, топливные гранулы, сырьё, оборудование

## Raw materials and equipment for the production of wood fuel pellets

B.G. Buryndin<sup>a</sup>, A.V. Artyomov<sup>b</sup>, A.V. Savinovskih<sup>c</sup>,

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

<sup>a</sup> buryndinv@m.usfeu.ru, <sup>b</sup> artemovav@m.usfeu.ru, <sup>c</sup> savinovskihav@m.usfeu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>

Received 05.04.2021, accepted 15.04.2021

*The cost of different types of fuel varies significantly across the country's regions and varies over time. Based on the analysis of wood raw materials intended for processing into pellets, the volume of production and the technological process and selection of equipment should be developed. Therefore, when choosing a technology for the production of fuel pellets, it is necessary to know the cost of various types of fuel in a given region at a given time and the trend of its changes in the future. One of the main indicators of the optimal variant of the technological process for obtaining wood pellets is the amount of energy consumed for the production of pellets. In this case, a condition should be carried out, in which the amount of energy spent on the production of pellets would be significantly less than the energy that will be released by the granulated material during its combustion. This energy is called the heat of combustion (calorific value or calorific value of the fuel). Wood has a high calorific value. One ton of wood emits ~18,000 MJ or 5,000 kW of energy when burned. Technological schemes for the production of fuel pellets consist of combinations of the following technological operations: granulation, fractionation, grinding, wood chips production. Based on the types of raw materials (wood-burning wood, thin gauge, hump, wood chips, cutting, twigs, shrub branches, shavings, sawdust, etc.), as well as knowing its production volumes and the cost of raw materials, taking into account transport costs to the granulation site, it is necessary to determine the production technology and the selection of equipment.*

**Keywords:** wood waste, fuel pellets, raw materials, equipment.

**Введение.** Древесина – это один из видов биотоплива. Одно из основных достоинств этого вида топлива заключается в его возобновляемости.

При заготовке древесины в лесах, её пиления на лесопилках и производстве изделий в цехах механической обработки образуется большое количество отходов, которое часто не используется, а вывозится в отвалы, где они гниют, или сжигается в лесу или в отвалах.

Средние данные о количестве отходов лесозаготовки [1]: ветки, сучья, верхинки – 14%, в том числе на лесосеке – 6,5%, на нижнем складе – 7,5%; опилки на нижнем складе – 10%.

Количество отходов лесопиления в процентах от объёма распиливаемого сырья указано в табл.1.

**Таблица 1.** Количество отходов лесопиления [1]

Вид отходов	Распиловка в развал		Распиловка с обрусовкой	
	на необрезные доски	на обрезные доски	при 50% обрусовки	при 100% обрусовки
Горбыль	6	6	8,5	10
Рейки	–	14	10	7
Вырезки и торцы	–	2	2	2
Опилки	10	12	12	12
Итого	16	34	32,5	31

Использовать эти отходы (горбыль, сучья, вершинки, срезки, опил, стружка) для сжигания в топках печей в их естественном виде неудобно, трудоёмко и в результате не экономично или малоэффективно. Поэтому из этих отходов делают древесные топливные брикеты (ДТБ) или древесные топливные гранулы (ДТГ), которые удобно транспортировать и экономично сжигать в различных установках.

Чтобы получить древесное сырьё для гранулирования, необходимо крупные отходы измельчить до размера менее 5 мм на дробилках, измельчителях.

Считается рациональным как за рубежом, так и в нашей стране выращивание быстрорастущих деревьев на специальных плантациях с целью получения биотоплива в виде гранул и брикетов [2, 3].

Одним из основных показателей оптимальности варианта технологического процесса получения древесных гранул является количество энергии, расходуемой на производство гранул. При этом должно выполняться условие, при котором количество энергии, затрачиваемой на производство гранул, было бы значительно меньше той энергии, которую выделит гранулируемый материал при его сжигании.

Эту энергию называют теплота сгорания (теплотворная способность или калорийность топлива).

Следовательно, предпочтение необходимо отдавать тому варианту технологической схемы, при котором разница между энергией, выделяемой при сгорании, и энергией, затрачиваемой на производство гранул больше.

Низшая теплота сгорания горючей массы стволовой древесины практически постоянна и равна 18,9 МДж/кг (4510 ккал/кг; 5,25 кВт/кг), эта величина зависит только от влажности и зольности древесины и не зависит от породы древесины и может быть рассчитана по формуле [1]

$$Q_n^p = 18900 - 214 \cdot w^p - 189 \cdot A^p \quad (1)$$

или [4]

$$Q_n^p = \frac{2514 \cdot (733 - w)}{100 + w} \quad (2)$$

где  $w^p$  – влажность рабочей древесины (поступающей в топку котла), %;  
 $A^p$  – зольность, %.

Если известен химический состав горючей массы и его влажность, то высшая теплота сгорания (В) рабочего топлива (Р), когда влажность равна нулю, рассчитывается по формуле Д.И. Менделеева [1]:

$$Q_n^p = 340 \cdot C^p + 1260 \cdot H^p - 109 \cdot O^p. \quad (3)$$

Низшая теплота (Н) влажной древесины рассчитывается по формуле

$$Q_n^p = 340 \cdot C^p + 1030 \cdot H^p - 109 \cdot O^p - 25 \cdot w^p \quad (4)$$

Элементарный состав горючей массы стволовой древесины практически одинаков для всех пород, и его можно без большой погрешности принять следующим:  $C=51\%$ ;  $H=6,1\%$ ;  $O=42,3\%$ ;  $N=0,6\%$ . Теплоту сгорания  $Q_n^p$  на горючую массу для хвойных пород древесины можно принять равной 19,079, а лиственной – 18,66 МДж/кг [1].

В работе [5] показано, как изменяется теплотворная способность с изменением влажности древесины. Теплота сгорания равна 19 МДж/кг при нулевой влажности, 10,5 МДж/кг при влажности 40% и 6 МДж/кг при влажности 60%. Такая зависимость теплоты сгорания от влажности древесины соответствует уравнению (1) (при зольности 1,2%).

Зависимость теплоты сгорания от влажности древесного топлива, рассчитанная по формуле (2), приведена на рис.1.

Свойства некоторых видов топлив приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Свойства и стоимость некоторых видов топлива [1, 6]

№ п/п	Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг
1	Каменный уголь	25,8
2	Топочный мазут	40,4
3	Природный газ*	38÷48
4	Генераторный газ	5,2
5	Торф	8,12÷11,7
6	Брикетируемый торф	21,4
7	Дрова	10÷16,14
8	Древесные брикеты	16,7
9	Древесные гранулы	18,8÷20,9
10	Топливные брикеты из ТБО	20÷40
11	Электрическая энергия**	3,6
12	Тепловая энергия***	4186,9

Примечание: \* – теплотворная способность газа зависит от месторождения; \*\* – средняя стоимость 1 кВт·ч=3,4 руб по России на 2021 г., \*\*\* – средняя стоимость 1 Гкал=1466,72 руб по Иркутской области на 2020 г

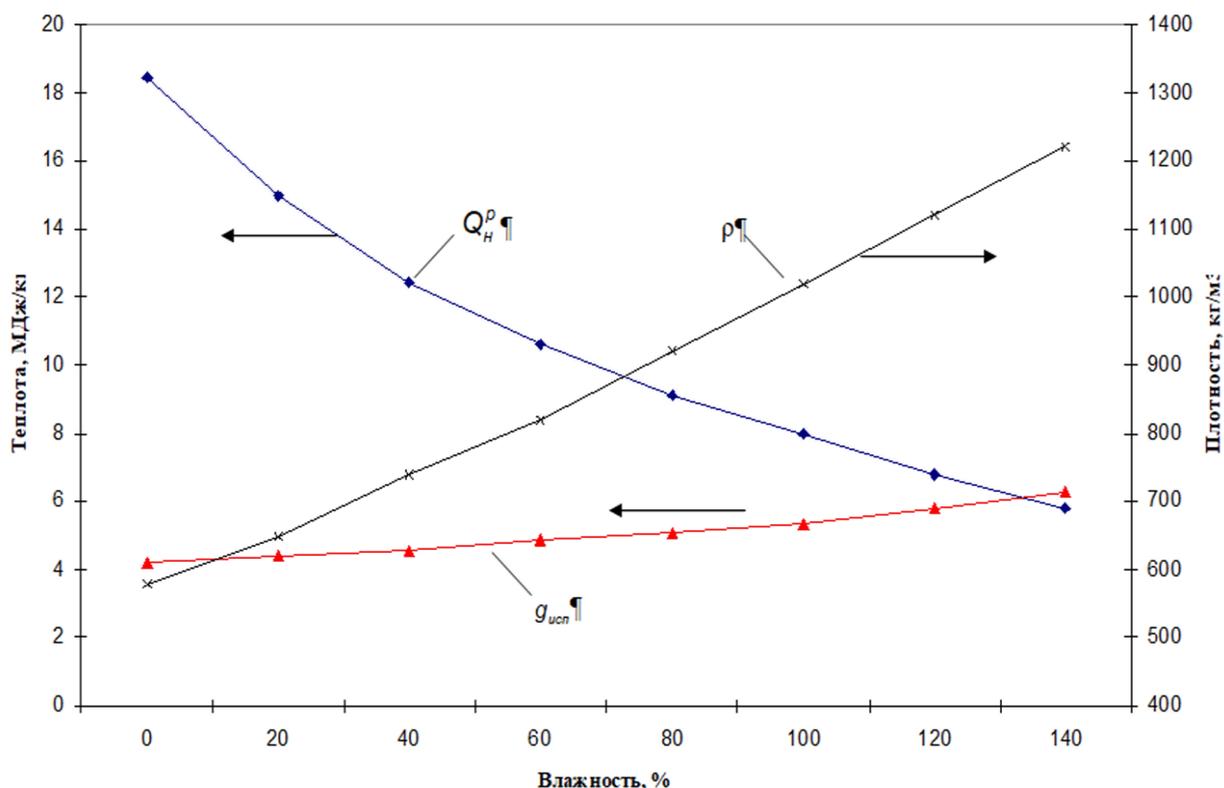


Рис.1. Зависимость теплоты сгорания древесного топлива  $Q_H^p$ , теплоты, расходуемой на испарение влаги,  $g_{исп}$  и плотности  $\rho$  от абсолютной влажности топлива [4]

### Методика исследования

Ценность топливных гранул определяется не только энергией, затраченной на их производство, но и другими затратами (амортизация оборудования, трудозатраты, аренда помещений и др.). Поэтому более комплексным показателем при выборе топлива является стоимость единицы энергии, получаемой при использовании того или иного вида топлива.

Следовательно, цена топливных гранул не может быть выше стоимости того количества энергии, которое они выделяют при сжигании.

Технологические схемы получения топливных гранул состоят из комбинаций следующих технологических операций: гранулирование, фракционирование, измельчение и получение щепы.

Ниже приводятся данные по затратам энергии на различных стадиях производства ДТГ. Необходимо следить за тем, чтобы затраты энергии на производство ДТГ не превысили затраты энергии, которую они выделяют при сгорании. Такие операции, как дозирование, транспортировка, хранение, затаривание, сушка и другие, ниже не рассматриваются.

### Гранулирование и брикетирование

При любом варианте технологии получения гранул основным видом оборудования является гранулятор или брикетирующая установка.

Существует несколько видов оборудования для получения брикетов или гранул [7-9], отличающихся как принципом уплотнения: прессование, экструзия с помощью винта (шнека), экструзия с помощью поршня, продавливания с помощью валков через отверстия (фильеры) в цилиндрической или плоской обойме, так и производительностью установки. Энергия, затрачиваемая на уплотнение древесных частиц и получение при этом брикетов или гранул, различна для различных установок. В работе [9] приведены данные о 27 установках для брикетирования различных стран мира с производительностью от 350 до 5000 кг/ч.

В табл. 3 приведены сведения о некоторых установках для брикетирования.

Часто производительность указывается не в кг/ч, а в тоннах в месяц или в тоннах в год [7] без указания режима работы оборудования.

В среднем энергию, затрачиваемую на брикетирование, можно принять равной 66 Вт/кг.

В работе [9] приведена компоновка технологического оборудования комплектной линии производства гранул из отходов лесопиления от стадии сырья до упаковки гранул.

В табл.4 приведены данные о некоторых грануляторах.

**Таблица 3.** Характеристики устройств для производства брикетов из отходов деревообработки [8-10]

№ п/п	Наименование, марка / принцип работы	Производительность, кг/ч	Мощность, кВт	Удельный расход энергии, Вт/кг
1	Пресс Б-8230 (РФ) / поршень	750	30	40
2	Holzmag Elan (Италия) / червяк	300 500	15 22	50 44
3	Valon-Kone, Novo Balt P-52 (Финляндия) / червяк	200 600	22 37	110 62
4	«Рольф Хотлапа» (ФРГ) / поршень	2000 3000	110 132	55 44
5	«Богма» М-50, М-75 / червяк	600 1500	30 50	50 37
6	«Шленекс»	300	7,5	25
7	Takeuchi Machinezy T-90E (Япония) / червяк	500 700	60	120 86
8	«Вален-Коне»	375	37	99
9	«Вейма» / червяк	200 250	15	75 60
10	Брикетировочный пресс SB-70 / поршень	100	7	70
11	Пресс брикетировочный	1250	155	124
12	Пресс штемпельный брикетировочный Б-814 / поршень	1000	54	54
13	Брикетировочный пресс БПС-2 / поршень	1000	50	50
14	Машина АВТ-160 / червяк	250 300	15	54,5
15	Пресс Novo Balt (Литва) / червяк	300 350	42	129

**Таблица 4.** Характеристики устройств для производства топливных гранул [7]

№ п/п	Наименование, марка	Производительность, кг/ч	Установленная мощность, кВт	Удельный расход энергии, Вт/кг
1	Простой станок-гранулятор (Швеция)	250 300	30	120 86
2	Гранулятор (Германия)	800 1200	90	112 75
3	Пресс-гранулятор (РФ)	500	65	130
4	Гранулятор ОГМ-1,5А (Литва)	1000 2000	98	98 49
5	Пресс-гранулятор SPC (Швеция)	300 300	60 100	200 333

В работе [7] приводится удельный расход энергии на гранулирование равным 30-50 Вт/кг.

Исходя из приведенных данных условные затраты энергии на гранулирование в среднем могут составлять 95 Вт/кг.

Если в процессе гранулирования древесные частицы нагревают, то необходимо учесть затраты энергии на подогрев, определяемые по формуле (5)

$$Q = C \cdot G \cdot \Delta t, \quad (5)$$

где  $C$  – удельная теплоёмкость, кДж/кг·К.  $C=1,5 - 2,5$  кДж/кг·К [12]. Принимаем  $C=2$ ;

$G$  – масса сырья, кг;

$\Delta t$  – разность температур, на которую нагревается материал. Принимаем  $\Delta t = 160 - 20 = 140$  °С.

$$Q = 2 \cdot 1 \cdot 140 = 180 \text{ кДж/кг (77,8 Вт/кг)}$$

#### Фракционирование

Для выделения из общей массы древесных частиц, тех, которые пригодны для гранулирования, необходима стадия фракционирования (разделение на фракции по размерам).

Размер частиц, пригодных для гранулирования, зависит от способа гранулирования, размера получаемых гранул, породы древесины, технологических режимов (влажность, давление, температура). Так, зарубежные стандарты на ДТГ рекомендуют диаметр гранул от 4 до 25 мм [7]. Наиболее часто встречаются рекомендации по получению гранул диаметром 6 – 8 мм [7].

Для фракционирования древесных частиц используются различные устройства:

- механические сортировки;
- пневматические сортировки;
- инерционно - пневматические и др.

В табл.5 приведены характеристики некоторых сортирующих устройств.

**Таблица 5.** Характеристики некоторых сортирующих устройств [11, 12]

№ п/п	Наименование сортировки	Производительность, кг/ч	Установленная мощность, кВт	Удельный расход энергии, Вт/кг
1	Механическая ДРС – 1	2800	2,2	0,79
2	Механическая ДРС – 2	10000	4,0	0,40
3	Качающееся (механическая) сортировка «Аллагайер» ARSM – 332	10000	7,5	0,75
4	Вибрационная СЦ – 02	30000 - 60000	4,5	0,075 – 0,15
5	Спиральные сепараторы	300 - 2500	7,5	14
6	Тип MRVI, фирма «Альпине»	3000 - 12000	30	6,3
7	Каскадный сепаратор КВС – 1 «Научплитпром»	8000 - 10000	21	2,1 – 2,63
8	Пневматический сепаратор «Келлер – 6» (ФРГ)	8000	11,7	13,8
9	Инерционно – пневматический сепаратор «Альпине» (ФРГ)	750	4	5,33

Чаще всего для фракционирования древесных частиц используются механические сортировки, которые просты в изготовлении и эксплуатации. Их можно изготовить в обычной механической мастерской.

Расход энергии на фракционирование в механических сортировках невелик (табл. 5): удельный расход энергии на рассев в среднем может составлять 0,75 Вт/кг.

#### Дробление

Для измельчения щепы и стружки используется молотковые, лопастные, зубчато-ситовые и дисковые дробилки. Влажность сырья перед дроблением рекомендуется в пределах 30 – 70% [13].

Для измельчения отходов шпона применяют молотковые дробилки ДММ – 0,3; ДКЦ – 1,2; ДКУ – М.

В работе [14] указано, что для проведения измельчения отходов шпона расход энергии составляет 18,9 Вт/кг. Для измельчения обрезков ДСтП требуется затратить 5-7 Вт/кг [15].

Затраты энергии на измельчение в основном зависят от размера частиц, до которого необходимо измельчить исходное сырьё. Так, для измельчения на зубчато-ситовой мельнице с размером отверстий сит 2мм затраты энергии составляют 300 Вт/кг. Время непрерывной работы зубьев около 100 часов, сит – 3 месяца [15].

Характеристики некоторых дробилок приведены в табл. 6.

**Таблица 6.** Характеристики некоторых дробилок для измельчения щепы (реек, шпона, опилок) [13, 16]

№ п/п	Наименование, марка	Производительность, кг/ч	Установленная мощность, кВт	Удельный расход энергии, Вт/кг
1	Молотковая дробилка ДМ-7	4000	75	18,75
2	Молотковая дробилка ДММ-0,3	80	12	150
3	Лопастная дробилка ДМ-3	1100	75	68,18
4	Лопастная дробилка «Кондукс GSK-650» (ФРГ)	650	63	96,92
5	Зубчато-ситовая дробилка ДМ-8	5000	265	44,16
6	Зубчато-ситовая дробилка «Пальман PPS8» (ФРГ)	500	37 – 52	74 – 104
7	Зубчато-ситовая дробилка «Пальман PSK6» (ФРГ)	600	45	75
8	Молотковая дробилка С-218	700 1000	14	20 14
9	Молотковая дробилка ДМ-1	2500	40	16
10	Лопастная дробилка ДМ-3	2600	100	38,5
11	Молотковая дробилка ДМ-6	840 1200	95 95	113 79
12	Зубчатая ситовая мельница	3000	115	38

Из анализа данных табл. 6 удельный расход энергии на измельчение в среднем можно принять 82 Вт/кг.

#### Получение щепы

Древесная щепа – это специальный продукт, а не отход производства [7], используется для различных целей. Требования к щепе излагаются в ГОСТ 15815-83.

Древесную щепу в основном получают с помощью дисковых и барабанных рубительных машин, снабженных ножами [2, 8, 16-20].

Характеристики некоторых рубительных машин приведены в табл. 7.

**Таблица 7.** Характеристики некоторых рубительных машин [1]

№ п/п	Наименование, марка	Производительность, кг/ч	Установленная мощность, кВт	Удельный расход энергии, Вт/кг
1	МРНП-10	6500	55	8,5
2	МРНП-30	19500	90	4,6
3	РМО-1600	5850-7800	55	7,1-9,4
4	РМО-2500	22750-26000	110-142	4,8-5,5
5	ДУ-2А	13000	55	4,2
6	«Пальман» РНТ 250х6500х9	13000-16250	145-200	11-12,3
7	«Майер» 800НВ 800S	16250	160	9,8

Имеются как зарубежные, так и отечественные устройства для измельчения древесных остатков (сучья, вершинки, кустарники и т.п.). Они бывают стационарные и передвижные.

Так, ЗАО «ПКБ Автоматика» (С-Петербург) предлагает измельчители ИДО-150МЭ с электрическим приводом, ИДО-150МН – навесной на трактор МТЗ-80/82, ИДО-150М – с регулируемым размером щепы как в стационарном, так и навесном варианте. А ООО «Новозыбковский станкостроительный завод» (Брянская обл.) предлагает дробилки древесных отходов стационарные (ДОС-1) и передвижные (ДОП-1).

Фирма Farmi Forest (Финляндия) выпускает рубительные машины серии СН-160 и двухдисковые машины серии СН-260 [2, 20] (см. табл. 8). Машину СН-260 HF-2EL предлагают использовать так же, как измельчитель бумаги, картона, пластика и т.п. Производительность станка по древесной щепе – 20-40 м<sup>3</sup>/час. Машины этой фирмы выпускаются в двух исполнениях: передвижные, с приводом от трактора через карданный вал, и стационарные, с приводом от электродвигателя через клиноременную передачу.

Сравнительные характеристики таких рубительных машин для измельчения древесных отходов приведены в табл. 8.

В работе [8] приведены характеристики 13-ти отечественных и зарубежных корорубок, из которых можно посчитать, что удельный расход энергии на измельчение коры составляет 4,22 Вт/кг.

В работе [21] приведен удельный расход энергии на рубку древесины различных пород (кВт·ч/м<sup>3</sup>): ель, пихта – 1,5-2,1; сосна, лиственница – 2,1-2,4; береза – 2,6-3,3. В пересчете на Вт/кг получается – 5,22; 4,81; 5,88 соответственно.

В работе [2] говорится, что заготовка дров убыточна, так как цена дров в 3,5 раза ниже себестоимости их производства. Предлагается заведомо дровяные деревья перерабатывать на нижних складах на топливную щепу деревьями. Там же описана специализированная технологическая линия для получения щепы ЛЩ-80. Потребление электроэнергии – 20,76 кВт·ч/м<sup>3</sup> (~35 Вт/кг), трудозатраты – 0,16 чел·ч/м<sup>3</sup>, себестоимость щепы – 331,7 руб/м<sup>3</sup> (~0,55 руб/кг).

Энергоёмкость установок по получению щепы ЛЩ-17,2 кВт·ч/м<sup>3</sup> (~28,7 Вт/кг), УПЩ-6Б: 57,6 кВт·ч/м<sup>3</sup> (~96 Вт/кг) [17].

Из данных, приведенных выше, и в табл. 7 и 8 расход энергии на рубку древесины условно можно принять равным 10 Вт/кг.

#### Получение стружки

Затраты на измельчение древесины в стружку на стружечных станках с ножевым валом равны 50-100 Вт/кг [15]. Для измельчения щепы в стружку на центробежных стружечных станках затраты энергии составляют 60-120 Вт/кг.

В работе [22] указано, что при получении мелкой стружки из щепы на станке ДС-5 затрачивается около 280 Вт/кг, а трудозатраты – 2 чел час на 1 тонну стружки. Получение такой же стружки из стружки-отходов – 90 Вт/кг, трудозатраты – 0,5 чел·час/т.

В табл. 9 приведены характеристики ряда стружечных станков для получения стружки из цельной древесины. Производительность станков зависит от толщины получаемой стружки (0,2-0,4 мм).

В табл. 10 приведены характеристики центробежных стружечных станков для получения стружки из щепы.

**Таблица 8.** Характеристики рубительных машин для измельчения древесных отходов

№ п/п	Показатели	отечественные			финские		
		ИДО-150МЭ	ИДО-150МН	ИДО-150М	СН-160	СН-160Т	СН-260
1	Производительность, м <sup>3</sup> /ч				5 – 20	5 – 30	10 – 40
2	Производительность, кг/ч				2500 – 10000	2500 – 15000	5000 – 20000
3	Мощность, кВт·ч				10 – 20	20 – 40	30 – 70
4	Стационарный (С) / Навесной (Н)	С	Н	С, Н	С	Н	С, Н
5	Длина щепы, мм				13	13	7 – 25
6	Максимальный диаметр бревна, мм				160	160	260
7	Число оборотов в минуту				540 1000	540 1000	540 1000
8	Источник энергии	эл.двиг./трактор	трактор	эл.двиг./трактор	эл.двиг. трактор	трактор	эл.двиг. трактор
9	Диаметр ротора, мм				670	670	1050
10	Число ножей, шт				2	2	2 – 3

**Таблица 9.** Станки для получения стружки из цельной древесины [15]

№ п/п	Наименование, марка	Производительность, кг/ч	Установленная мощность, кВт	Удельный расход энергии, Вт/кг
1	Стружечный станок с ножевым валом ДС-6	2500 – 5000	204	81,6 40,8
2	Стружечный станок с ножевым валом ДС-8	3250 – 6500	204	62,8 31,4

**Таблица 10.** Станки для получения стружки из щепы [15]

№ п/п	Наименование, марка	Производительность, кг/ч	Установленная мощность, кВт	Удельный расход энергии, Вт/кг
1	Стружечный станок с ножевым валом ДС-5	1200	115	95,8
2	Стружечный станок с ножевым валом ДС-7	4300	213	95,5
3	Фирма «Пальман» Р 28 Р (ФРГ)	500	65	130,0
4	Фирма «Пальман» Р 210 Р (ФРГ)	900	70	77,8
5	Фирма ЧССР TOR 606	45	48	106,7
6	Фирма «Майер» МК 2-1 (ФРГ)	1500	75	50

Из приведенного выше следует, что использование кондиционной стружки, получаемой в производстве ДСтП, для изготовления гранул нецелесообразно.

#### Получение древесного волокна

Производство древесного волокна, используемое в производстве ДВП, энергоёмко и дорого. Так, в работе [23] указано, что при размоле щепы в волокно химико-механическим способом потребность в энергии около 400-500 кВт·ч на 1 тонну волокна. При термомеханическом способе (метод «Дефибратор») потребность в энергии составляет 200-250 кВт·ч/т.

В работе [24] приведены следующие данные. Расход электроэнергии на операции приготовления волокна составляет 320-380 кВт·ч/т, а расход пара – 0,5-0,8 т на 1 тонну сухой древесноволокнистой массы.

Из изложенного выше следует, что древесное волокно дорогой продукт и из него нецелесообразно получение топливных гранул.

#### Получение древесной муки

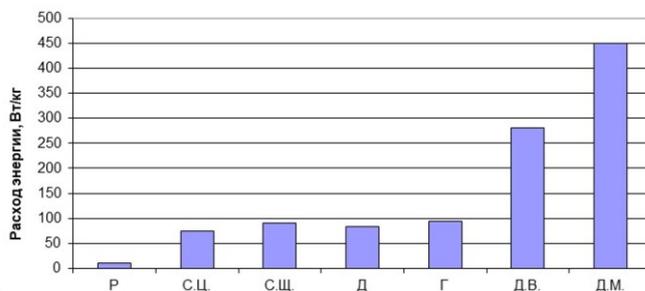
В ряде литературных источников указывается, что для получения древесных топливных гранул используется древесная мука. Так, в работе [7] говорится, что ДТГ изготавливаются из высушенных остатков деревообрабатывающего и лесопильного производства: опилки, стружка, древесная мука, щепа, древесная пыль и т.п.

Древесную муку, как и щепу, нельзя считать отходом производства. Древесная мука – это дорогой, специально изготавливаемый продукт, отвечающий определенным требованиям, указанным в ГОСТ 16362-84.

В технологическом процессе при производстве древесной муки из опилок и стружек задействовано 40 единиц оборудования 15 наименований и 67 циклов. Затраты энергии составляют 450 кВт·ч на 1 тонну муки [25].

#### **Заключение**

На рис. 2 приведены примерные затраты энергии на выполнение некоторых технологических операций, встречающихся при производстве древесных гранул.



**Рис.2.** Потребление энергии при выполнении некоторых технологических операций: Р – рубка (получение щепы), С.Ц. – строгание стружки из цельной древесины, С.Щ. – получение стружки из щепы, Д – дробление, Г – гранулирование, Д.В. – получение древесного волокна, Д.М. – получение древесной муки

Из рис. 2 следует, что расход энергии на рубку древесины (получение щепы) невелик, так как она производится режущими инструментами (ножами). Однако использовать непосредственно щепу на гранулирование невозможно, потому что её размеры велики (10 – 40 мм). Поэтому щепу должна ещё пройти стадию дробления или получения из неё мелкой стружки.

Затраты энергии на измельчение в дробилках велики, так как там происходит размол с помощью ударов тупыми деталями (билами).

Затраты энергии на получение стружки составляют ~ 80-90 Вт/кг, однако для получения мелкой фракции, такую стружку будет необходимо доизмельчать.

Величина удельного расхода энергии может быть несколько завышена, как фактическая потребляемая мощность может быть ниже установленной.

Исходя из видов исходного сырья (дровяная древесина, тонкомер, горбыль, щепа, срезка, сучья, ветки кустарников, стружка, опилка и др.), а также зная его объёмы производства и стоимость сырья с учетом транспортных расходов до места гранулирования, нужно определиться с технологией производства и подбором оборудования.

## Литература

## References

1. Головкин С.И., Коперин И.Ф., Найденков В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 224 с.
2. Рубильная машина высокой производительности Farmi Forest CH-260 // ЛесПромИнформ. 2005. № 8 (30). С. 90-91.
3. Самылин А.А. Пеллеты и автомобиль - встреча неизбежна. Ч. 1 // ЛесПромИнформ. 2006. № 3 (34). С. 98-103.
4. Стерлин Д.М. Совершенствование сушки шпона в газовых роликовых сушилках: обзорная информ. Плиты и фанеры. М.: ВНИПИЭИ леспром, 1984. Вып. № 5. 48 с.
5. Самылин А.А., Цивенкова Н.М. Проблемы заготовки древесной щепы для энергетических целей // ЛесПромИнформ. 2005. № 9 (31). С. 64-69.
6. Левин А.Б., Суханов В.С. Собственная энергия дешевле покупной // ЛесПромИнформ. 2005. № 2. С. 86-89.
7. Ракитова О.С., Овсянко А.Д., Александров С.Е. Справочник древесных топливных гранул в России и СНГ. СПб., 2005. 124 с.
8. Соловьев А.М. Брикетирование коры и мелких древесных отходов: обзорная информ. Механическая обработка древесины. М.: ВНИПИЭИ леспром, 1986. Вып. № 4. 36 с.
9. Койков П.М. Оборудование для производства брикетов из древесных отходов: обзорная информ. Мех. обработка древесины. М.: ВНИПИЭИ леспром, 1986. Вып. № 9. 32 с.
10. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. М.: Гослесбумиздат, 1962. 183 с.
11. Отлев И.А. Справочник по древесностружечным плитам. М.: Лесная промышленность, 1990. 384 с.
12. Каратаев С.Г. Исследование путей повышения эффективности зубчатых клеевых соединений заготовок из древесины: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Л., 1982. 218 с.
13. Щварцман Г.М., Щедро Д.А. Производство древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1987. 320 с.
14. Вигдорович А.И. Пути снижения энергетических затрат в производстве фанеры и изделий из древесных прессмасс: экспресс-информ. М.: Плиты и фанеры, 1983. Вып. № 2. 15 с.
15. Пучков Б.В. Измельчение древесного сырья традиционными и новыми способами: экспресс-информ. Плиты и фанеры. М.: ВНИПИЭИ леспром, 1991. Вып. № 8.
16. Шейдин И.А., Пюдик П.Э. Технология производства древесных пластиков и их применение. М.: Лесная промышленность, 1971. 264 с.
17. Салюга А.А. Ресурсосберегающая технология производства щепы: экспресс информ. Плиты и фанера. М.: ВНИПИЭИ леспром, 1991. Вып. № 4. С. 32-36.
18. Цивенкова Н.М., Самылин А.А. Проблемы заготовки древесной щепы для энергетических целей // ЛесПромИнформ. 2005. № 9 (31). С. 64-69.
19. Цивенкова Н.М., Самылин А.А. Проблемы заготовки древесной щепы для энергетических целей. Окончание // ЛесПромИнформ. 2006. № 2 (33). С. 80-81.
20. Производство коммерческой щепы: рубильная машина Farmi forest CH-260 // ЛесПромИнформ. 2006. № 4 (35). С. 80-71.
21. Бюриков В.И. Справочник по древесноволокнистым плитам. М.: Лесная промышленность, 1981. 184 с.
22. Каратаев С.Г. Эффективные способы измельчения древесного сырья для производства плит: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1995. 46 с.
23. Дроздов И.Я., Кунин В.М. Производство древесноволокнистых плит. М.: Высш. школа, 1979. 303 с.
24. Чистова Н.Г., Шинкевич И.В., Морозов И.М., Казаков Е.С. Энергозатраты процесса подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов в производстве ДВП // Системы Методы Технологии. 2016. № 3 (31). С. 178-181.
25. Цывин М.М., Котцов С.Г., Шмаков И.В. Производство древесной муки. М.: Лесная промышленность, 1982. 136 с.
1. Golovkov S.I., Koperin I.F., Najdenkov V.I. Energy use of wood waste. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 224 p.
2. High Performance chopping machine Farmi Forest CH-260 // LesPromInform. 2005. № 8 (30). P. 90-91.
3. Samylin A.A. Pellets and a car-the meeting is inevitable. CH. 1 // LesPromInform. 2006. № 3 (34). P. 98-103.
4. Sterlin D.M. Improving veneer drying in gas roller dryers: obzornaya inform overview information. Slabs and plywood. M.: VNIPIEI lesprom, 1984. Vyp. № 5. 48 p.
5. Samylin A.A., Civenkova N.M. Problems of harvesting wood chips for energy purposes // LesPromInform. 2005. № 9 (31). P. 64-69.
6. Levin A.B., Suhanov V.S. Own energy is cheaper than purchased energy // LesPromInform. 2005. № 2. P. 86-89.
7. Rakitova O.S., Ovsyanko A.D., Aleksandrov S.E. Directory of wood fuel pellets in Russia and the CIS. SPb., 2005. 124 p.
8. Solovov A.M. Briquetting of bark and small wood waste: obzornaya inform. Mechanical processing of wood. M.: VNIPIEI lesprom, 1986. Vyp. № 4. 36 p.
9. Kojkov P.M. Equipment for the production of briquettes from wood waste: obzornaya inform. Mechanical wood processing. M.: VNIPIEI lesprom, 1986. Vyp. № 9. 32 p.
10. CHudakov M.I. Industrial use of lignin. M.: Goslesbumizdat, 1962. 183 p.
11. OtleV I.A. Handbook of particle boards. M.: Lesnaya prom-st', 1990. 384 p.
12. Karataev S.G. Investigation of ways to improve the efficiency of toothed adhesive joints of wood blanks: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05. L., 1982. 218 p.
13. SHCHvareman G.M., SHCHedro D.A. Production of particle boards. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 320 p.
14. Vlgdorovich A.I. Ways to reduce energy costs in the production of plywood and wood pressmass products: ekspress-inform. M.: Plity i fanery, 1983. Vyp. № 2. 15 p.
15. Puchkov B.V. Grinding of wood raw materials in traditional and new ways: ekspress-inform. Plity i fanery. M.: VNIPIEI lesprom, 1991. Vyp. № 8.
16. SHejdin I.A., Pyudik P.E. Production technology of wood plastics and their application. M.: Lesnaya prom-st', 1971. 264 p.
17. Salyuga A.A. Resource-saving chip production technology: ekspress inform. Slabs and plywood. M.: VNIPIEI lesprom, 1991. Vyp. № 4. P. 32-36.
18. Civenkova N.M., Samylin A.A. Problems of harvesting wood chips for energy purposes // LesPromInform. 2005. № 9 (31). P. 64-69.
19. Civenkova N.M., Samylin A.A. Problems of harvesting wood chips for energy purposes. Ending // LesPromInform. 2006. № 2 (33). P. 80-81.
20. Production of commercial wood chips: Farmi forest CH-260 chopping machine // LesPromInform. 2006. № 4 (35). P. 80-71.
21. Byurikov V.I. Handbook of fibreboard materials. M.: Lesnaya prom-st', 1981. 184 p.
22. Karataev S.G. Effective ways of wood raw material grinding for the production of slabs: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. M., 1995. 46 p.
23. Drozdov I.YA., Kunin V.M. Production of fibreboard. M.: Vyssh. shkola, 1979. 303 p.
24. CHistova N.G., SHinkevich I.V., Morozov I.M., Kazakov E.S. Energy consumption of the process of preparation of wood-fiber semi-finished products in the production of fibreboard // Systems Methods Technologies. 2016. № 3 (31). P. 178-181.
25. Cyvin M.M., Kotcov S.G., SHmakov I.V. Wood flour production. M.: Lesnaya prom-st', 1982. 136 p.