

Влажность древесного сырья для получения топливных гранул

В.Г. Бурындин^а, А.В. Артемов^б, А.В. Савиновских^с

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

^а buryndinv@gmail.com, ^б artemovav@gmail.com, ^с savinovskihav@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>,

^с <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>,

Статья поступила 30.07.2021, принята 13.09.2021

Древесное сырье для получения гранул различается как по размерам (крупное — горбыль, вершинки, сучья, рейки, щепка и мелкое — стружка, опилки, пыль), так и по влажности, которая может быть от нескольких до 100 и более процентов. Технологические схемы получения топливных гранул состоят из комбинаций следующих технологических операций: гранулирование, фракционирование, измельчение, сушка и получение щепы. Исходное сырье для получения древесных гранул может иметь различную влажность. Расход энергии на сушку древесины зависит от вида древесины, ее исходной влажности, типа сушилки, режимов сушки и т. п. Очень много энергии требуется при сушке древесины, поэтому следует обращать большое внимание на влажность исходного сырья и сушильное устройство. Сушильные агрегаты для сушки древесных частиц выбираются в зависимости от их вида, начальной и конечной влажности, производительности. По способу передачи тепла высушиваемому материалу различают кондуктивные (контактные) и конвективные устройства. Большое значение имеет и то, от какой и до какой влажности необходимо сушить. Из литературных источников установлено, что оптимальной для производства древесных топливных гранул является влажность древесного сырья 10–15 %.

Ключевые слова: древесные отходы; топливные гранулы; сырье; влажность.

Humidity of wood raw materials for the production of fuel pellets

B.G. Buryndin^а, A.V. Artyomov^б, A.V. Savinovskih^с

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

^а buryndinv@gmail.com, ^б artemovav@gmail.com, ^с savinovskihav@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>,

^с <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>,

Received 30.07.2021, accepted 13.09.2021

Wood raw materials for the production of pellets differ both, in size (large - hump, tops, twigs, slats, chip and small - shavings, sawdust, dust), and in humidity, which can be from several to one hundred percent or more. Technological schemes for the production of fuel pellets consist of combinations of the following technological operations: granulation, fractionation, grinding, drying and obtaining chips. The raw material for the production of wood pellets may have different humidity. The energy consumption for drying wood depends on the type of wood, its initial humidity, the type of dryer, drying modes, etc. A lot of energy is required when drying wood, so one should pay great attention to the humidity of the raw material and the drying device. Drying units for drying wood particles are selected depending on their type, initial and final humidity, productivity. According to the method of heat transfer to the dried material, they are distinguished into conductive (contact) and convective. It is also of great importance from what and to what humidity it is necessary to dry. It is established from the literature sources that the optimal humidity of wood raw materials for the production of DTG is a humidity of 10-15%.

Keywords: wood waste; fuel pellets; raw materials; humidity.

Введение. Древесное сырье для получения гранул различается как по размерам (крупное — горбыль, вершинки, сучья, рейки, щепка и мелкое — стружка, опилки, пыль), так и по влажности, которая может быть от нескольких до 100 и более процентов.

Исходное сырье для получения древесных гранул может иметь различную влажность.

Так влажность древесины, поступающей на лесопереработку сухопутным путем, составляет 60–80 %, а путем сплава по воде достигает 120 % и более [1]. Отходы фанерного производства имеет влажность 80–150

%, мебельного производства — не более 10 %, отходы при производстве стружки для ДСТП — 3–5 %.

Влажность воздушно-сухой древесины — 13–17 % [2; 3].

Влажность, рекомендуемая для древесных частиц при производстве гранул — 12–15 % [4], 8–12 % [5].

По рекомендации комиссии СЭВ, все показатели физико-механических свойств древесины определяют при абсолютной влажности 12 % и перерасчитывают на эту влажность [2].

Различают три формы связи влаги с древесиной: физико-механическая, физико-химическая, химическая.

Наиболее легко удаляется из древесины физико-механически связанная влага, называемая обычно свободной. Она находится в микрокапиллярах. Удаление свободной влаги требует меньших затрат тепла, чем удаление гигроскопической, и не сопровождается изменением объема древесины.

Химически связанная влага удерживается в древесине наиболее прочно и удаляется при нагреве до температуры выше 170 °С [1].

Приближенно можно считать, что удаление основной массы свободной влаги происходит при сушке до влажности 25–30 %, после чего, до влажности 8–10 %, удаляется главным образом связанная влага микрокапиллярной конденсации, а в дальнейшем адсорбционно-связанная влага.

Скорость удаления свободной влаги значительно больше, чем связанной [1].

Расход энергии на сушку древесины зависит от вида древесины, ее исходной влажности, типа сушилки, режимов сушки и т. п.

Кроме того, сушка необходима для увеличения энергетической плотности топлива [6].

В работе [7] рассмотрены варианты технологий получения древесных топливных гранул (ДТГ):

Вариант I. Из мелких и сухих древесных отходов;

Вариант II. Из стружки-отходов;

Вариант III. Из сухих мелкокусковых отходов;

Вариант IV. Из сухих крупнокусковых отходов;

Вариант V. Из сырых древесных опилок;

Вариант VI. Из сырых крупнокусковых отходов;

Вариант VII. Из дровяной древесины.

Цель данной работы заключается в уточнении затрат энергии при производстве древесных гранул с учетом сушки сырья.

Методика исследования. Для оценки эффективности сушильных установок используют показатель расхода тепла на 1 кг испаренной влаги — удельный расход тепла на сушку g_T (кДж/кг) [8]:

$$g_T = \frac{\Sigma Q}{m_{u.s.}},$$

где ΣQ — суммарный расход тепла на сушку в единицу времени, кДж/ч; $m_{u.s.}$ — количество влаги, испаренной в сушилке за единицу времени, кг/ч.

Так при сушке стружки с влажностью 70–80 % до влажности 2–4 % в барабанной сушилке «Прогресс» с производительностью 1800–2500 кг/ч удельный расход тепла на сушку составляет 5 130 кДж/кг (1 425 Вт/кг). Проведение ряда мероприятий при капитальном ремонте сушилки позволило увеличить производительность до 3450–3840 кг/ч. Теоретический удельный расход тепла на сушку снизился до 4 000 кДж/кг (1 111 Вт/кг) [8].

При сушке стружки в сушилке «Прогресс» Н 411-56 от влажности 80 до 2–4 % расход энергии составляет около 814 Вт/кг.

При сушке стружки в сушилке «Бюттнер» с влажностью от 65 до 3 % расход энергии составляет 1 042 Вт/кг [1].

Сушильные агрегаты для сушки древесных частиц выбираются в зависимости от их вида, начальной и конечной влажности, производительности.

По способу передачи тепла высушиваемому материалу различают кондуктивные (контактные) и конвективные устройства.

В контактных сушилках источником тепла, как правило, служит ротор (мешалка), состоящий из пучка нагретых труб. Достоинством таких сушилок является сравнительно низкий удельный расход тепла. Недостаток — налипание древесной смолы на горячие трубы.

Конвективные сушилки по способу перемешивания высушиваемого материала можно разделить на два типа, с пневматическим и механическим перемешиванием частиц в процессе сушки [1]. Простейшей сушилкой пневматического перемешивания является труба-сушилка. Температура топочных газов на входе — 400–500 °С, на выходе — около 100 °С.

К конвективным сушилкам с механическим перемешиванием древесных частиц относится наиболее распространенная в нашей стране барабанная сушилка, выпускаемая заводом «Прогресс» [1]. Диаметр барабанов сушилок различных марок составляет от 1 000 до 3 500 мм, длина барабанов — от 6 до 27 м [1]. Температура газозвдушной смеси на входе в сушилку 250–350 °С, на выходе — 90–115 °С.

Удельный расход тепла при сушке древесных частиц зависит от того, насколько совершенно используемое сушильное оборудование, и колеблется в широком диапазоне 3500–5000 кДж/кг (972–1389 Вт/кг).

Большое значение имеет и то, от какой и до какой влажности необходимо сушить.

Так, например, в производстве ДСтП стружку сушат от 80–90 до 2–4 %.

При производстве древесных гранул сушку необходимо производить до более высоких значений влажности — 10 % [9]. Следовательно, и затраты энергии будут меньше, чем при производстве ДСтП.

Для примерных расчетов примем следующие значения расхода энергии от диапазона влажности:

от 100 до 15 % — 4 000 кДж/кг (1 111 Вт/кг);

от 75 до 15 % — 3 375 кДж/кг (938 Вт/кг);

от 50 до 15 % — 2 740 кДж/кг (761 Вт/кг).

Далее рассматриваются варианты производства ДТГ с учетом стадии сушки исходного сырья [7].

Вариант I. Получение гранул из мелких и сухих древесных отходов.

При производстве мебели, столярных изделий, паркета и т. п. исходным сырьем является высушенный сортимент (брус, доска и др.). Образующиеся при механической обработке мелкие отходы (опилки, стружка, пыль) при хранении принимают равновесную влажность 12–15 % [4]; 15–18 % [3].

Эта влажность зависит от атмосферных условий помещения, где они находятся, от размера частиц и породы древесины. Таким образом, получается, что равновесная влажность таких отходов близка к влажности, которая необходима при их грануляции. Следовательно, стадия сушки отпадает.

Вариант II. Получение гранул из стружки-отходов.

При использовании в качестве сырья стружки-отходов стадия сушки также не нужна, так как влажность стружки-отходов обычно не более 15 % [3].

Вариант III. Получение гранул из сухих мелкокусковых отходов.

К сухим мелкокусковым отходам можно отнести срезки, получаемые при изготовлении обрезной доски из высушенной древесины с влажностью 12–18 %, отходы сухого шпона, сухие сучья, рейки, образующиеся при форменной обрезке и раскрое древесно-стружечных, древесно-волоконистых, древесно-слоистых плит и фанеры.

Стадия сушки не требуется.

Также при использовании в качестве сырья отходов древесных пластиков необходимо иметь в виду, что в них содержится определенное количество синтетических смол: ДСтП ~13 %, ДВП ~3 %, ДСлП ~10-12 %. Поэтому древесные топливные гранулы из этих материалов могут сжигаться в топках промышленных предприятий, но не допускаются для сжигания в бытовых условиях (печи, камины).

Вариант IV. Получение гранул из сухих крупнокусковых отходов.

К крупнокусковым отходам можно отнести горбыль, топпомер, верхинки и т. п.

Стадия сушки не требуется.

Вариант V. Получение гранул из сырых древесных опилок.

При продольном распиливании бревен на пиломатериалах на доски, брус, шпалы и т. п. образуются опилки. Количество этих опилок составляет 10–15 % [2], их влажность равна 60–80 %.

Влажность стволовой свежесрубленной древесины в зависимости от породы изменяется в пределах 49–100 %. Так, у ели ~ 92 %; лиственницы ~ 82; пихты ~ 100; сосны ~ 88–92; осины, ольхи, тополя ~ 82; березы ~ 79 % [2].

Примем, что влажность исходных опилок равняется 75 %, и их необходимо высушить до влажности 15 %. При этом расход энергии составит 3 375 кДж/кг (938 Вт/кг).

Вариант VI. Получение гранул из сырых крупнокусковых отходов.

Как и в варианте V, затраты на сушку примем равными 938 Вт/кг.

Вариант VII. Получение гранул из дровяной древесины.

Дровяная древесина — это кривые и сучковатые деревья, непригодные для получения из них качественных пиломатериалов (брус, доска). Поэтому они разделяются на дрова.

Однако себестоимость получения дров из такой древесины выше их цены в несколько раз [10], поэтому иногда их целесообразнее перерабатывать в древесные топливные гранулы, чем в дрова.

Расход энергии на сушку по варианту VII аналогичен варианту V: 938 Вт/кг.

На рис. 1 приведены примерные затраты энергии на выполнение некоторых технологических операций (установленные по результатам работы [11]), встречающихся при производстве древесных гранул, с учетом стадии сушки (от влажности 65 до 3 %).

На рис. 1 видно, что наибольший расход энергии при производстве ДТГ требуется при сушке древесины. Поэтому следует обращать большое внимание на влажность исходного сырья и сушильного устройства.

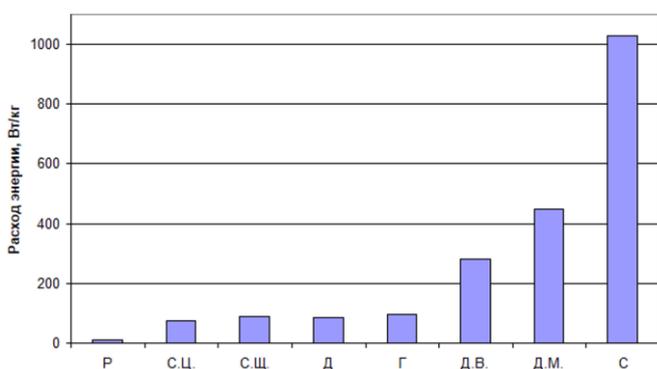


Рис. 1. Потребление энергии при выполнении некоторых технологических операций: Р — рубка (получение щепы); С.Ц. — строгание стружки из цельной древесины; С.Щ. — получение стружки из щепы; Д — дробление; Г — гранулирование; Д.В. — получение древесного волокна; Д.М. — получение древесной муки; С — сушка

Заключение. Согласно [11] и данной работе, были рассмотрены устройства, используемые для получения топливных гранул, и определены удельные расходы энергии на их производство с учетом стадии сушки, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расход энергии операций производства топливных гранул

Операция	Удельный расход энергии, Вт/кг
Брикетирование	66
Гранулирование	95
Рассев	0,75
Измельчение	82
Рубка древесины	10
Сушка от 100 до 15 %	1 111 (4 000 кДж/кг)
от 75 до 15 %	938 (3 375 кДж/кг)
от 50 до 15 %	761 (2 740 кДж/кг)

Ниже рассмотрены суммарный расход энергии по различным вариантам производства ДТГ с учетом стадии сушки.

Вариант I. Получение гранул из мелких и сухих древесных отходов: для I варианта стадия сушки не требуется, а для гранулирования необходимы две стадии: рассев и гранулирование [11]. При этом расход энергии на получение ДТГ по данному варианту составляет ~96 Вт/кг (см. рис. 2, а).

Вариант II. Получение гранул из стружки-отходов: расход энергии на доизмельчение стружки-отходов составляет ~22 Вт/кг [11]. Стадии сушки исходного сырья не требуется. Суммарный расход энергии по варианту II с учетом всех стадий составит ~117 Вт/кг (см. рис. 2, а).

Вариант III. Получение гранул из сухих мелкокусковых отходов: расход энергии для измельчения мелкокусковых отходов в частицы размером менее 5 мм составляет ≈ 40 Вт/кг [11]. Стадии сушки исходного сырья не требуется. Суммарный расход энергии по варианту III составит ~ 135 Вт/кг (рис. 2, а).

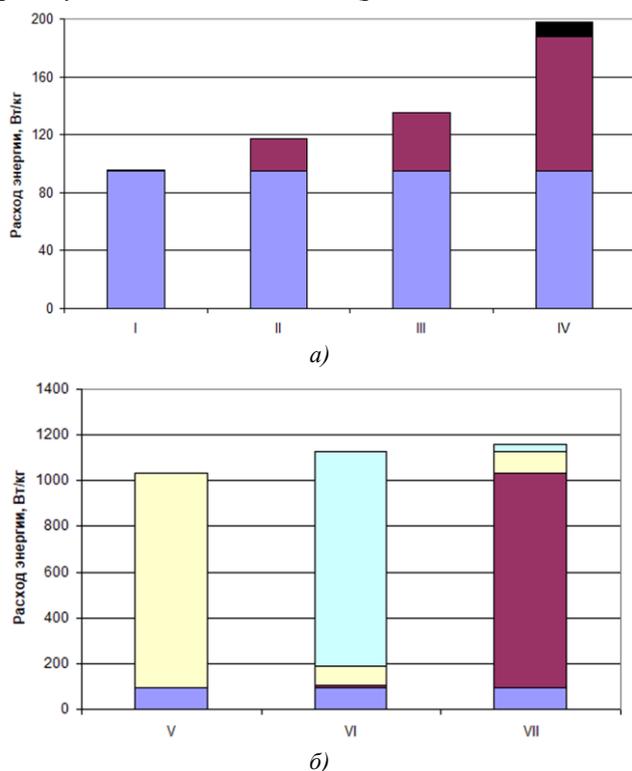


Рис. 2. Расход энергии на производство древесных гранул: а — из сухих материалов (I — сухие и мелкие стружки и опилки, II — сухие стружки-отходы, III — сухие мелкокусковые отходы, IV — сухие крупнокусковые отходы); б — из сырых материалов (V — сырые опилки, VI — сырые крупнокусковые отходы, VII — дровяная древесина)

Литература

- Щварцман Г.М., Щедро Д.А. Производство древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1987. 320 с.
- Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная пром-сть, 1987. 224 с.
- Гашкова А.К. Влияние влажности на качество столярно-строительных изделий из древесины. М.: Лесная пром-сть, 1974. 80 с.
- Дешево и сердито // ЛесПромИнформ. 2005. № 4 (26). С. 68-70.
- Ракитова О.С., Овсянко А.Д., Александров С.Е. Справочник древесных топливных гранул в России и СНГ. СПб., 2005. 124 с.
- Li Y.D., Liu H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel // Biomass Bioenergy. 2000. № 19 (3). P. 177-186.
- Дедюхин В.Г., Бурьиндин В.Г., Артемов А.В. Анализ вариантов технологий получения древесных топливных гранул // Урал промышленный - Урал полярный: Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: сб. материалов VI Междунар. науч.-технической конф. (06-07 февр. 2007 г.). Екатеринбург, 2007. С. 378-380.

Вариант IV. Получение гранул из сухих крупнокусковых отходов: данные отходы необходимо вначале измельчить в щепу ≈ 10 Вт/кг, а после доизмельчить ≈ 82 Вт/кг [11]. Стадии сушки исходного сырья не требуется. Суммарные затраты по IV варианту составят ≈ 198 Вт/кг (рис. 2, а).

Вариант V. Получение гранул из сырых древесных опилок: потребуется расход энергии на фракционирование ≈ 1 Вт/кг; гранулирование ≈ 95 Вт/кг [11]; сушку ≈ 938 Вт/кг. Суммарные затраты по варианту V составят ≈ 1034 Вт/кг (рис. 2, б).

Вариант VI. Получение гранул из сырых крупнокусковых отходов: затраты энергии, как и в варианте IV, будут складываться из затрат на получение щепы ≈ 10 Вт/кг, дробление ≈ 82 Вт/кг, гранулирование ≈ 95 Вт/кг [11]. Добавляются затраты на сушку, которые, как и в варианте V, составляют ≈ 938 Вт/кг. Итого, общие затраты энергии по данному варианту составят ≈ 1125 Вт/кг (рис. 2, б).

Вариант VII. Получение гранул из дровяной древесины: расход энергии по этому варианту составит: получение щепы ≈ 35 Вт/кг; получение мелкой стружки из щепы ≈ 93 Вт/кг; сушки ≈ 938 Вт/кг; гранулирование ≈ 95 Вт/кг [11]. Итого ≈ 1161 Вт/кг (рис. 2, б).

Помимо ставших традиционными способов производства древесных паллет, имеются запатентованные разработки, направленные на усовершенствование и интенсификацию процесса. Так известен способ производства древесных паллет, заключающийся в предварительной сортировке отходов методом оптического детектирования. Отличительной особенностью этого метода является отделение коры, сжигание которой обеспечивает тепловую энергию для сушки опилок [12].

- Тетерин Л.А. Пути повышения энергетической эффективности процесса сушки измельченной древесины. Обзорная информация // Плиты и фанеры. 1982. Вып. 7. 48 с.
- Помигуев А.В., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Обоснование технологии производства и экспериментальные исследования свойств топливных брикетов, предназначенных для использования в условиях лесных терминалов // Системы Методы Технологии. 2021. № 1 (49). С. 59-66.
- Рубильная машина высокой производительности Farmi Forest CH-260 // ЛесПромИнформ. 2005. № 8 (30). С. 90-91.
- Бурьиндин В.Г., Артемов А.В., Савиновских А.В. Сырьё и оборудование для получения древесных топливных гранул // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 118-125.
- Igathinathane C. Machine vision based particle size and size distribution determination of airborne dust particles of wood and bark pellets // Powder Technol. 2009. № 196 (2). P. 202-212.

References

- SHCHvarcman G.M., SHCHhedro D.A. Production of particle boards. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 320 p.

2. Golovkov S.I., Koperin I.F., Najdenov V.I. Energy use of wood waste. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 224 p.
3. Gashkova A.K. The influence of humidity on the quality of wood joinery and construction products. M.: Lesnaya prom-st', 1974. 80 p.
4. Cheap and angry // LesPromInform. 2005. № 4 (26). P. 68-70.
5. Rakitova O.S., Ovsyanko A.D., Aleksandrov S.E. Directory of wood fuel pellets in Russia and the CIS. SPb., 2005. 124 p.
6. Li Y.D., Liu H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel // Biomass Bioenergy. 2000. № 19 (3). P. 177-186.
7. Dedyuhin V.G., Buryndin V.G., Artemov A.V. Analysis of variants of technologies for the production of wood fuel pellets // Ural promyshlennyj - Ural polyarnyj: Social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa: sb. materialov VI Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. (06-07 fevr. 2007 g.). Ekaterinburg, 2007. P. 378-380.
8. Teterin L.A. Ways to increase the energy efficiency of the drying process of crushed wood. Overview information // Plity i fanery. 1982. Vyp. 7. 48 p.
9. Pomiguyev A.V., Kunickaya O.A., Grigor'ev I.V. Justification of the production technology and experimental studies of the properties of fuel briquettes intended for use in the conditions of forest terminals // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 1 (49). P. 59-66.
10. High-performance chopping machine Farmi Forest CH-260 // LesPromInform. 2005. № 8 (30). P. 90-91.
11. 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.
12. Igathinathane C. Machine vision based particle size and size distribution determination of airborne dust particles of wood and bark pellets // Powder Technol. 2009. № 196 (2). P. 202-212.