

УДК 676.038.4

О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любов, Д.Л. Герасимчук, А.Н. Попов

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Мюллер Оскар Давыдович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, кандидат технических наук, доцент кафедры океанотехники и энергетических установок филиала Севмашвтуз Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 50 печатных работ в области повышения энергоэффективности использования древесного сырья.
E-mail: oscar@mail.ru



Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет более 190 публикаций в области теплоэнергетики.
Тел.: 8(8182) 21-61-75



Герасимчук Дмитрий Леонидович родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры древесиноведения и тепловой обработки древесины САФУ. Имеет 4 печатных работы в области переработки отходов деревообработки на основе новых технологий.
Тел.: 8(8182) 21-61-49



Попов Анатолий Николаевич родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический институт, аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 3 публикации в области теплоэнергетики.
E-mail: a.n.popov@narfu.ru



ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССОВАНИЯ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ ПЛОТНОСТЬ ТОПЛИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ

Исследовано и проанализировано влияние давления прессования на относительную плотность произведенных древесных гранул в зависимости от фракционного состава и влажности исходного сырья и приложенного давления прессования. Получены аналитические зависимости для расчета относительной плотности спрессованных топливных древесных гранул.

Ключевые слова: древесные отходы, опилки, влажность древесины, насыпная плотность, относительная плотность, давление, пресс-гранулятор, матрица, фильера.

© Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Герасимчук Д.Л., Попов А.Н., 2013

Технологические процессы механической обработки древесины сопровождаются получением большого количества кусковых и измельченных отходов, которые в последующем используются неэффективно или складываются в отвалах, где полностью теряют кондицию.

Истощение запасов традиционных ископаемых (невозобновляемых) источников энергии и нарастающее глобальное потепление за счет парниковых газов, получаемых при сжигании таких видов топлива, интенсифицировало проявление интереса к возобновляемым источникам энергии с меньшим содержанием образующихся парниковых газов, более экологичным при сжигании. В первую очередь, это относится к биотопливным ресурсам, основным из которых является древесина. Особое внимание уделяется топливу в виде древесных топливных гранул. Согласно экспертным оценкам [2] ежегодная потребность мирового рынка в топливных древесных гранулах к 2020 г. возрастет от 130 до 170 млн т.

При этом использование кусковых и измельченных отходов деревообработки в первозданном виде в качестве биотопливных ресурсов имеет ограниченное применение, что связано с их низкой теплотворной способностью, малой насыпной плотностью, нетехнологичностью, усложняющейся транспортной доступностью и пр. Использование таких отходов в качестве источника энергетических ресурсов экономически оправдано, если расстояние от места их изготовления до места использования не превышает 50 км.

Для повышения энергетической эффективности древесных отходов, увеличения их насыпной плотности, транспортабельности разработана технология гранулирования растительной биомассы, в частности древесных отходов. Это направление в настоящее время является одним из самых перспективных. Стремительное развитие производства древесных гранул наблюдается в Канаде, странах Скандинавии, Дании, Германии и др., за последние годы заметно выросло производство древесных гранул в России, вводятся в строй новые предприятия различной производственной мощности.

Технологический процесс получения древесных гранул включает следующие этапы: предварительное измельчение исходного древесного сырья; сушка измельченной древесины до влажности 8...12 %; измельчение высушенной древесины до размеров фракции не более 1,5 мм; прессование высушенной и измельченной древесной массы в прессе-грануляторе; охлаждение полученных гранул.

Существенное влияние на энергетические затраты процесса производства гранул оказывает давление, развиваемое в прессе-грануляторе. При этом приложенное давление оказывает влияние и на конечную плотность спрессованных гранул [1]. В настоящее время отсутствуют качественные и количественные оценки влияния приложенного давления прессования на плотность древесных гранул.

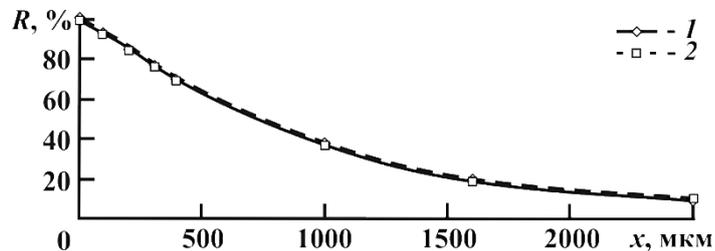
Цель нашего исследования – определение влияния давления прессования при гранулировании на конечную плотность готовых древесных гранул в зависимости от фракционного состава и исходной влажности древесной массы-шихты, подаваемой в виде щепы и опилок.

Исходная древесная шихта характеризуется насыпной плотностью, которая зависит от исходной породы древесины, влажности и фракционного состава. Насыпная плотность ρ_0 представляет собой массу свободно насыпанного исходного измельченного до определенного состояния материала в килограммах на метр кубический, конечная плотность ρ спрессованной древесной шихты в основном определяется давлением прессования p .

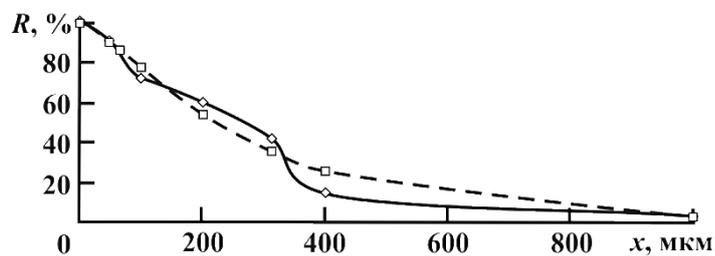
Для проведения исследований была создана экспериментальная установка на основе рычажного пресса с усилием порядка 20 кН и изготовлены две матрицы с фильерами диаметром 6 и 8 мм и два пуансона. Пуансоны, оснащенные пьезометрическим датчиком силы, установлены на подвижном штоке пресса. Датчик был откалиброван и с помощью аппаратуры zet-lab подключен к персональному компьютеру. Экспериментальная установка обеспечивает давление до 400 МПа на пуансоне диаметром 8 мм и до 700 МПа на пуансоне диаметром 6 мм. Экспериментальные исследования проводили при давлении до 100 МПа, что в несколько раз превышает давление, создаваемое на существующих прессах-грануляторах.

Для опытов использовали древесно-шлифовальную пыль (ДШП) и древесную шихту, имеющую следующий фракционный состав, мм: $\delta \leq 2,5$; 1,0 и 0,5. Исходная влажность древесной шихты, %: $w = 6,09$; 10,09; 15,00; 20,00. Опыты проводили на древесине сосны.

Интегральная, так называемая зерновая, фракционная характеристика шихты из древесины сосны при $\delta \leq 2,5$ мм и $\delta \leq 1,0$ мм представлена на рис. 1.



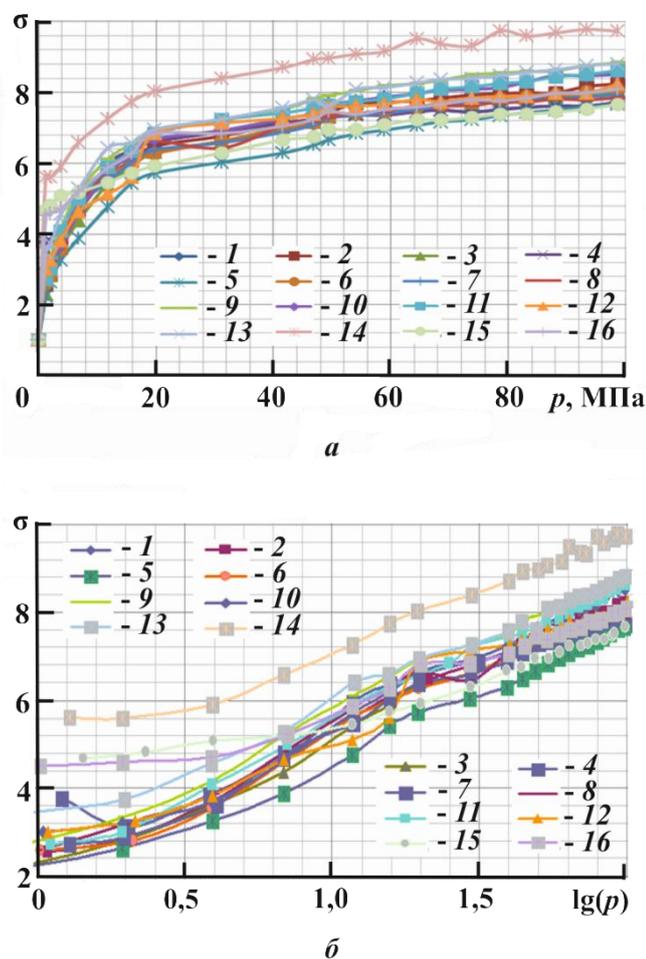
а



б

Рис. 1. Интегральная зерновая характеристика древесной шихты (материал – сосна): а – $\delta \leq 2,5$ мм; б – $\delta \leq 1,0$ мм; 1 – опыт; 2 – расчет

Рис. 2. Зависимость коэффициента сжимаемости σ древесной шихты (материал – сосна) от приложенного давления прессования p , размеров шихты δ и ее влажности w (*а*), то же в полулогарифмической системе координат (*б*): 1–4 – $\delta \leq 2,0$ мм; 5 – 8 $\leq 1,0$; 9 – 12 $\leq 0,5$; 13 – 16 – ДШП; 1, 3, 5, 9, 13 – $w = 6,09$ %; 2, 6, 10, 14 – 10,09; 3, 7, 11, 15 – 15,00; 4, 8, 12, 16 – 20,00 %



Результаты экспериментов по определению зависимости плотности древесной шихты от приложенного давления приведены на рис. 2, *а*.

Из рис. 2, *а* видно, что интенсивный рост плотности древесной шихты наблюдается до давления 25 МПа. Дальнейшее повышение приложенного давления сопровождается замедлением увеличения плотности древесного материала. На рис. 2, *б* представлены те же зависимости в полулогарифмической системе координат.

Из рис. 2 видно, что все экспериментальные данные укладываются на ряд параллельных прямых, которые хорошо описываются уравнением прямой:

$$\sigma = a + b \lg p,$$

где a – координата точки пересечения с осью ординат;

b – угловой коэффициент прямой.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что a изменяется от 2,2 до 3,0, а $b = 2,7$, причем большее значение a соответствует

и большей исходной влажности сырья для каждого фракционного состава. Анализ влияния a на конечную плотность спрессованных гранул показал, что влияние это незначительно и для расчетов можно принять $a = 2,8$. Тогда уравнение, описывающее зависимость относительной плотности древесной шихты σ от приложенного давления p , будет иметь следующий вид:

$$\sigma = 2,8 + 2,7 \lg p. \quad (1)$$

В технической литературе часто используется понятие «уплотняемость» – способность вещества к уплотнению под воздействием определенного давления. В нашем случае

$$\Gamma = \frac{\partial \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)}{\partial p}. \quad (2)$$

Продифференцировав (1), получим

$$\partial \sigma = \partial \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) = \frac{2,7}{2,3p} \partial p.$$

Тогда уравнение (2) примет следующий вид:

$$\Gamma = \frac{1,17}{p}.$$

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что интенсивное уплотнение древесной шихты наблюдается при увеличении давления прессования до 25 МПа. Дальнейшее повышение давления прессования вызывает незначительное изменение коэффициента сжимаемости $\sigma = \rho/\rho_0$.

На рис. 3 видно, что после приложения давления в 30 МПа дальнейшее уплотнение исходной древесной шихты изменяется незначительно.

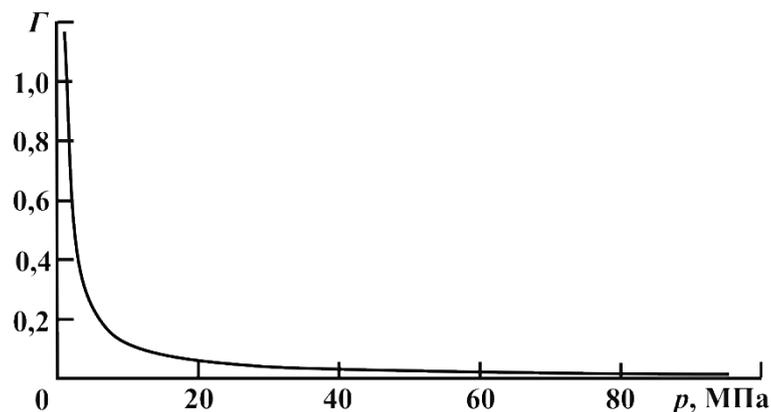


Рис. 3. Зависимость уплотняемости (Γ) древесной шихты (материал – сосна) от приложенного давления (p)

Таким образом, можно сделать следующее заключение.

1. При производстве древесных гранул зависимость плотности произведенных гранул от приложенного давления носит логарифмический характер.

2. Относительная плотность полученных древесных гранул незначительно зависит от фракционного состава и влажности исходной шихты и может быть описана уравнением

$$\sigma = 2,8 + 2,7 \lg p. \quad (3)$$

Уплотняемость древесной шихты имеет обратную зависимость от приложенного давления. Анализ зависимости (3) показывает, что оптимальное значение давление прессования древесных топливных гранул находится в пределах 20...30 МПа. Дальнейшее увеличение плотности древесных гранул ведет к более быстрому росту давления прессования и связанных с ним энергетических затрат на единицу продукции. Уточненные значения давления прессования могут быть определены на основании сопоставительного анализа плотности древесных топливных гранул и энергетических затрат на их прессование.

3. Полученные зависимости позволяют определить направления экспериментальных исследований для нахождения основных параметров процесса, обеспечивающих получение древесных гранул заданного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Любов В.К. Влияние параметров технологического оборудования на качественные показатели древесных гранул // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 90–98. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Pellet Atlas: Final report on producers, traders and consumers of wood pellets / R. Sikkema, M. Steiner, M. Junginger, W. Hiegl. 2009.

Поступила 20.01.12

O.D. Mueller, V.I. Melekhov, V.K. Lyubov, D.L. Gerasimchuk, A.N. Popov

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Dependence of Compacting Technological Parameters on Relative Density of Wood Fuel Pellets

Dependence of compacting pressure on relative density of wood pellets with consideration for fractional breakup and moisture content of a feedstock has been studied and analyzed. The analytic equations for calculation of relative density of compacted wood fuel pellets have been derived.

Key words: wood wastes, sawdust, moisture content of wood, apparent density, relative density, pressure, pelleting press, die block, extrusion nozzle.