УДК 620.9:662.6

О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любов, В.И. Малыгин

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 Северодвинского филиала Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 50 печатных работ в области повышения энергоэффективности использования древесного сырья.
E-mail: ockar@mail.ru



Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Северного (Арктического) федерального университета, действительный член АПК РФ и РАЕН, председатель диссертационного совета. Имеет более 250 научных работ в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования малоценной древесины и отходов деревообработки на основе новых технологий.
Тел.: 8(8182) 21-61-49



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, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет более 190 публикаций в области теплоэнергетики.
E-mail: v.lubov@narfu.ru



Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН РФ, проректор по научной работе Северодвинского филиала Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 180 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.
E-mail: v.malygin@narfu.ru

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ

Исследовано и проанализировано влияние давления прессования на коэффициент бокового давления при прессовании древесных гранул в зависимости от фракционного состава и влажности исходного сырья.

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

© Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Малыгин В.И., 2013

В отечественной и мировой практике для утилизации избыточного количества древесных отходов все большее распространение получает метод переработки их в древесные топливные гранулы – пеллеты.

Технологический процесс прессования древесных гранул имеет много особенностей. Важнейшими характеристиками качества топливных древесных гранул, определяющими их потребительскую ценность, являются плотность, теплотворная способность, влажность, зольность и истираемость. Как отмечено в [2], конечная плотность спрессованных древесных гранул зависит в основном от развиваемого давления в прессе-грануляторе, которое практически равно давлению выталкивания гранулы из фильеры. На давление выталкивания оказывают существенное влияние такие факторы, как относительная (по отношению к диаметру) длина фильеры, коэффициент внешнего трения спрессованных древесных гранул о поверхность фильеры и коэффициент Пуассона спрессованной древесной гранулы.

Из теории и практики прессования порошковых материалов известно, что чем больше давление прессования, тем больше боковое давление, действующее на стенку матрицы и распирающее ее [1]. Установлено [2, 3], что процесс выталкивания гранул можно рассматривать как квазистационарный, при котором сила выталкивания древесной гранулы уравновешивается интегральной силой поверхностного трения гранулы о стенки фильеры. Местная сила трения, в свою очередь, прямо пропорциональна местному боковому давлению древесной гранулы на стенки фильеры матрицы. При этих условиях осевое давление по длине гранулы имеет экспоненциальный характер от длины фильеры.

Для того чтобы рассчитать силу выталкивания древесной гранулы из фильеры и определить давление прессования, необходимо знать зависимость бокового давления спрессованной древесной гранулы на стенки фильеры от давления прессования. В технической литературе отсутствуют данные о зависимости бокового давления при прессовании древесной шихты от ее фракционного и породного состава, влажности и осевого давления.

Цель данного исследования – определение влияния давления прессования при прессовании древесной массы (шихты) на боковое давление древесных гранул на стенки фильеры в зависимости от фракционного состава и исходной влажности шихты.

В качестве объекта исследования использовали шихту из древесины сосны и березы с сит с максимальными размерами отверстий 2,0, 1,0 и 0,5 мм, а также древесно-шлифовальную пыль (ДШП). Исходное влагосодержание древесной шихты W = 6,09; 10,09; 15,00 и 20,00 %.

Для проведения эксперимента была создана установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 1 [4].

Прессование древесной шихты осуществлялось в замкнутом пространстве, образованном боковой цилиндрической поверхностью фильеры, жесткой подложкой *7* и торцевой поверхностью подвижного пуансона *2*, что обеспечивало постоянство как осевого усилия по длине гранулы, так и бокового давления по ее боковой поверхности. Осевое усилие прессования F_o создавалось с помощью ручного пресса усилием до 20 кН и определялось датчиком силы *4*.

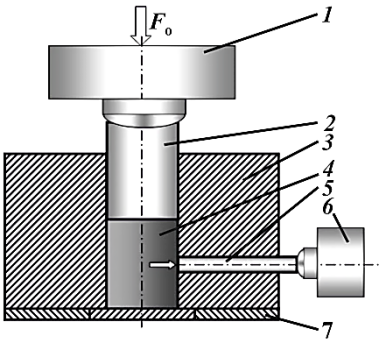


Рис. 1. Принципиальная схема стенда для определения бокового давления: *1* – матрица; *2* – пуансон формирования гранулы; *3* – гранула; *4* – датчик силы прессования; *5* – пуансон для передачи боковой силы; *6* – датчик боковой силы; *7* – подложка с центральным отверстием (для удаления спрессованной гранулы)

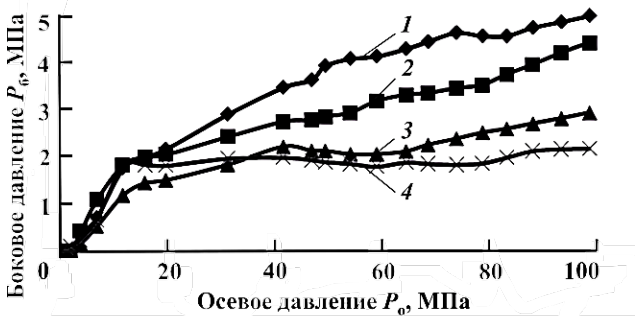
Боковая сила давления $F_б$ гранулы на стенки фильеры через пуансон *5* воспринималась датчиком силы *6*. Диаметр пуансона прессования D = 8 мм, диаметр пуансона бокового давления d = 5 мм. При прессовании осевое усилие изменялось до 5 кН, что позволило создать давление прессования до 100 МПа.

В процессе прессования древесной гранулы измеряли силы, действующие на датчики сил в осевом и боковом направлениях. По ним были определены осевое давление (давление прессования) P_o; боковое давления $P_б$ и коэффициент v бокового давления (отношение $P_б/P_o$).

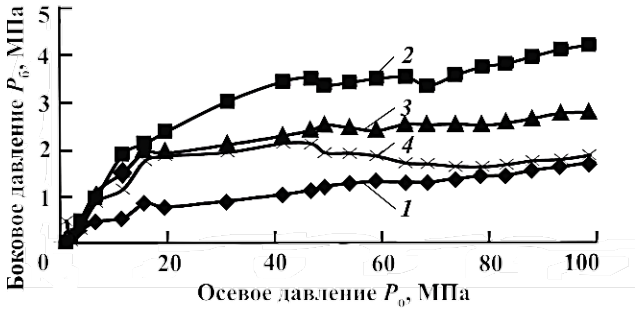
При указанных диаметрах пуансонов

$$v = 2{,}56\frac{F_б}{F_o}. \qquad (1)$$

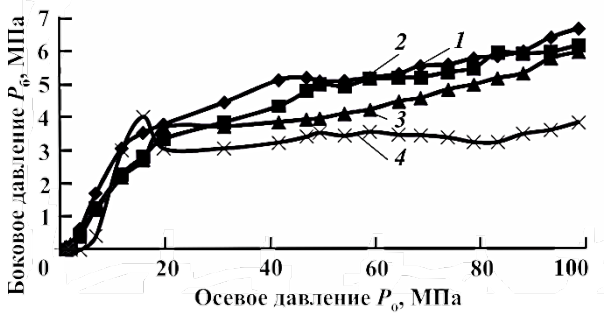
Результаты измерений представлены на рис. 2.



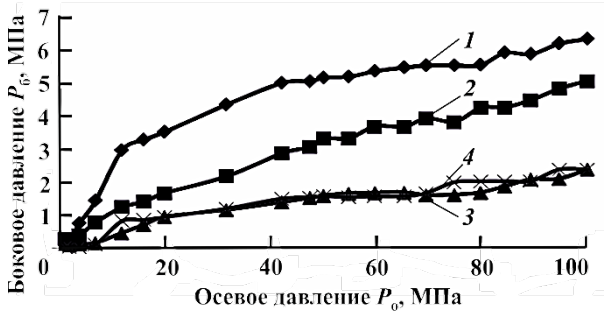
а



б



в



г

Рис. 2. Зависимость бокового давления $P_б$ от давления прессования $P_о$ древесной (сосновой) шихты с фракционным составом $\delta \leq 2{,}0$ мм (*а*), $\delta \leq 1{,}0$ мм (*б*), $\delta \leq 0{,}5$ мм (*в*) и березовой ДШП (*г*) при влажности $W = 6{,}09$ % (*1*); 10,09 (*2*); 15,00 (*3*); 20,00 % (*4*)

Из приведенных на рис. 2 графиков видно, что зависимость бокового давления $P_б$ от давления прессования $P_о$ носит нелинейный характер. При этом в пределах одного фракционного состава боковое давление $P_б$ зависит от исходной влажности W шихты. Чем она выше, тем ниже боковое давление.

Для практического применения значительно больший интерес представляют не абсолютные значения бокового давления, а отношение $P_б/P_о$ (коэффициент бокового давления), по сути представляющее собой коэффициент Пуассона ν, который для различных условий прессования представлен на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что зависимость коэффициента бокового давления ν от давления прессования $P_о$ имеет сложный характер. В начале процесса прессования древесной гранулы на боковое давление $P_б$ преобладающее влияние оказывают упругие деформации древесной шихты, при этом коэффициент бокового давления ν быстро растет. По мере увеличения $P_о$ преобладающее влияние на боковое давление оказывают пластические деформации древесной шихты. Вследствие этого рост коэффициента бокового давления замедляется, затем происходит его снижение. Максимальное значение ν достигается при $P_о = 8…14$ МПа.

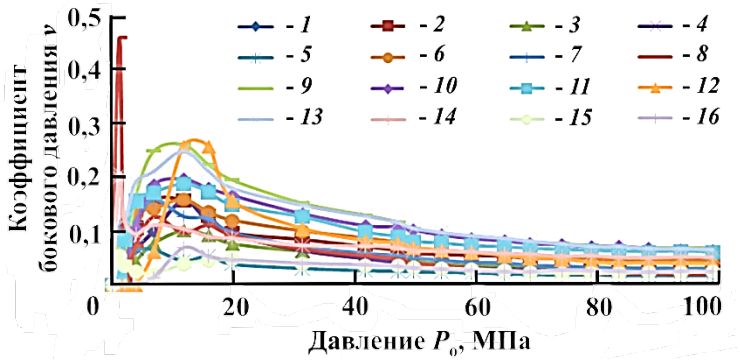


Рис. 3. Зависимость коэффициента бокового давления ν от приложенного осевого давления прессования P_o: *1–4* – $\delta \leq 2{,}0$ мм; *5–8* – $\delta \leq 1{,}0$; *9–12* – $\delta \leq 0{,}5$; *13–16* – ДШП; *1, 5, 9, 13* – $W = 6{,}09$ %; *2, 6, 10, 14* – 10,09; *3, 7, 11, 15* – 15,00; *4, 8, 12, 16* – 20,00 %

В существующих технологиях процесс прессования древесных гранул осуществляется при давлениях 25…30 МПа, т.е. за пределами максимума коэффициента бокового давления. Это обстоятельство приводит к тому, что по мере продвижения древесной гранулы в фильере от входа к выходу коэффициент бокового давления сначала возрастает, а потом снижается. В результате распределение давления по длине фильеры отличается от экспоненты, что подтверждают экспериментальные данные определения давления выталкивания спрессованной гранулы по мере ее продвижения в фильере матрицы (рис. 4).

Сопоставление приведенных на рис. 3 зависимостей с известными показало, что для описания этих кривых может быть использовано уравнение

$$\nu = AP_o^B e^{CP_o}. \qquad (2)$$

Здесь A, B и C – коэффициенты, зависящие от фракционного и породного состава древесной шихты и ее исходной влажности, подлежат определению при дальнейшей обработке экспериментальных данных по прессованию древесных гранул.

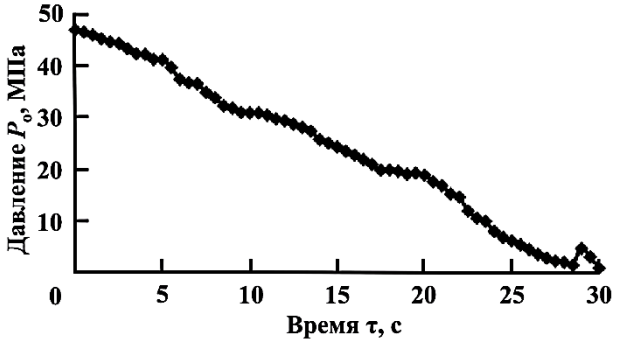


Рис. 4. Зависимость изменения давления выталкивания P_o за время выталкивания τ древесной гранулы из фильеры

Выводы

1. При производстве древесных гранул их плотность определяется приложенным давлением, которое при заданных геометрических параметрах фильер зависит от исходного состава древесной шихты, ее влажности и коэффициента бокового давления *v*.

2. На боковое давление наиболее существенное влияние оказывает влажность исходной древесной шихты – чем она выше, тем ниже боковое давление, а следовательно, и давление выталкивания P_o, т.е. увеличение влажности исходного сырья снижает давление прессования и, как следствие, плотность готовых древесных гранул.

3. Связь между коэффициентом бокового давления и давлением прессования носит сложный характер и может быть описана уравнением (2).

4. Наибольшее значение коэффициента бокового давления в процессе формирования древесных гранул достигается при давлении прессования 8…14 МПа.

5. Полученные результаты позволяют наметить направления дальнейших экспериментальных и теоретических исследований для определения основных параметров процесса, обеспечивающих получение древесных гранул заданного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.* Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1971. 528 с.

2. *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).

3. *Назаров В.И., Макаренков Д.А., Булатов И.А.* Исследование процесса гранулирования дисперсных отходов на роторных прессах с плоской матрицей // Вестн. МИТХТ. 2010. Т. 5, № 6. С. 13–16.

4. Экспериментальный стенд для исследования процессов прессования древесных гранул / О.Д. Мюллер [и др.] // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 42–46. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 13.02.12

O.D. Myuller, V.I. Melekhov, V.K. Lyubov, V.I. Malygin
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

The Effect of Compacting Pressure on the Side Pressure Coefficient of Wood Pellets

The paper investigates and analyzes the effect of compacting pressure on the side pressure coefficient during pellet compaction, depending on the fractional composition and moisture content of the raw material.

Key words: wood waste, saw dust, wood moisture content, bulk density, relative density, pressure, side pressure coefficient, pellet press, matrix, die.