



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 620.9:662.818.6

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ  
НА МОДУЛЬ ЮНГА ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ  
ДРЕВЕСНОЙ ГРАНУЛЫ**

© *О.Д. Мюллер, канд. техн. наук, доц.*

*В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.*

*Д.Л. Герасимчук, асп.*

*Н.М. Клюшин, ст. преп.*

*Т.В. Тюрикова, асп.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: ockar@mail.ru

В ряде работ по аналитическому определению математической модели процесса прессования древесной гранулы в цилиндрических каналах матрицы показано, что на величину конечной плотности и, соответственно, качество спрессованной гранулы существенное влияние оказывает модуль Юнга спрессованной древесной шихты. В литературных источниках имеются ограниченные данные по модулю Юнга для пропитанных клеящим материалом измельченных древесных частиц, которые идут на изготовление древесностружечных и древесноволокнистых плит. Отсутствуют достоверные данные о модуле Юнга для спрессованных древесных опилок без клеящего материала. Для восполнения данных по модулю Юнга для спрессованной древесной шихты была создана экспериментальная установка на базе ручного пресса. За базовую схему проведения экспериментов была выбрана схема компрессионного сжатия древесной гранулы в одиночной цилиндрической фильере матрицы, разработаны методики по проведению опытов и обработке экспериментальных данных, выполнены экспериментальные измерения модуля Юнга для древесной шихты из березы, ели и сосны трех фракционных составов при изменении давления прессования шихты от 10 до 60 МПа. Обработка результатов экспериментальных исследований показала, что модуль Юнга древесных гранул линейно растет с увеличением давления прессования; плотность древесины, из которой изготовлена древесная шихта, оказывает существенное влияние на модуль Юнга спрессованной гранулы: чем она меньше, тем ниже модуль спрессованной гранулы; влияние фракционного состава шихты на модуль Юнга носит обратный характер: чем мельче фракционный состав, тем выше модуль Юнга спрессованной гранулы; для спрессованной мелкодисперсной древесной шихты при рабочих давлениях в прессе-грануляторе модуль Юнга изменяется в пределах 600 ... 2000 МПа, т. е. меньше, чем у цельной древесины при поперечном сжатии (~ 2000 МПа).

*Ключевые слова:* древесные отходы, опилки, модуль Юнга, давление прессования, древесные гранулы, пресс-гранулятор, матрица, фильера.

Аналитическое определение математической модели процесса прессования древесной гранулы в цилиндрических каналах матрицы показало [1–6], что на величину конечной плотности и, соответственно, на качество спрессованной гранулы существенное влияние оказывает модуль Юнга спрессованной шихты. Однако в литературных источниках практически отсутствуют достоверные данные о модуле Юнга для спрессованной древесной шихты.

Целью настоящего исследования было определение модуля Юнга для спрессованной древесной шихты и влияние на него исходного фракционного состава шихты, породы древесины и давления прессования.

Для проведения экспериментальных исследований был создан экспериментальный стенд, функциональная схема которого представлена на рис. 1, и разработана методика проведения экспериментальных исследований.

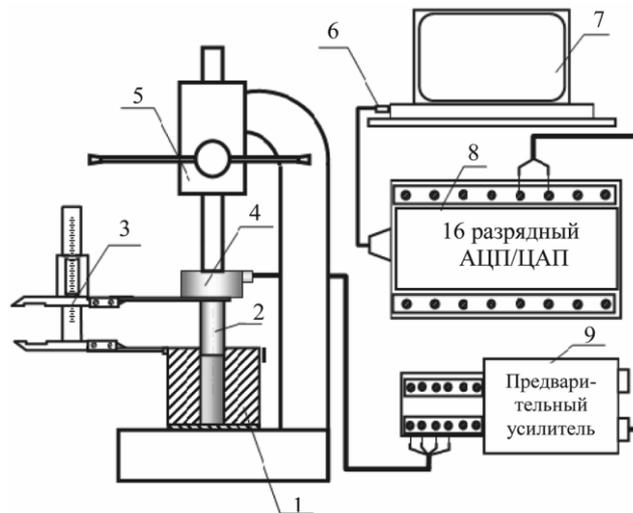


Рис. 1. Функциональная схема экспериментального стенда: 1 – матрица с фильтром диаметром 8 мм; 2 – рабочий плунжер; 3 – электронный датчик перемещения на базе штангенциркуля Electronic digital caliper с точностью измерений 0,01 мм; 4 – датчик силы Dacell типа UM на 2 тс; 5 – ручной пресс AP-2; 6 – интерфейс USB 2.0; 7 – компьютер; 8 – 16-разрядный АЦП/ЦАП; 9 – предварительный усилитель

Для прессования одиночной гранулы была изготовлена цилиндрическая матрица 2 диаметром 50 мм и высотой 50 мм, в центре которой выполнен сквозной цилиндрический канал диаметром 8 мм. Матрица жестко крепится к станине ручного пресса. Для прессования был изготовлен плунжер диаметром 7,9 мм и длиной 55 мм, верхняя часть которого через датчик силы крепится к выдвижному штоку ручного пресса. Плунжер имеет жесткую связь с подвижной ножкой штангенциркуля, неподвижная ножка которого жестко закреплена на корпусе матрицы.

*Методика проведения и обработка результатов эксперимента*

1. Формирование древесной гранулы:

касанием торцевой поверхностью плунжера через цилиндрическую фильеру матрицы опорной поверхности станины ручного прессы фиксировался «0» измерительной системы;

плунжер выводился из фильеры, фильера заполнялась древесной шихтой;

плунжером с помощью ручного прессы древесная шихта в фильере сжималась до заданного усилия  $R_i$ , которое контролировалось с помощью датчика силы на компьютере;

по достижении усилия  $R_i$  нагрузка снималась, плунжер выводился из фильеры, освободившееся пространство фильеры заполнялось новой порцией древесной шихты и операция повторялась до тех пор, пока спрессованная гранула почти полностью не заполнит фильеру матрицы;

по окончании формирования древесной гранулы фиксировались показания усилия прессования  $R_0$ .

2. Проведение эксперимента:

при касании торцевой поверхностью плунжера торцевой поверхности гранулы фиксировалось показание штангенциркуля  $L_0$ , которое необходимо для определения длины спрессованной гранулы;

осуществлялась ступенчатая (с остановками) нагрузка плунжера с шагом  $\Delta R$ ; при каждой остановке нагружения фиксировались усилие сжатия  $R_i$  и показания штангенциркуля  $L_i$ .

при достижении прикладываемого усилия сжатия  $0,8 R_0$  дальнейшее увеличение усилия прекращалось, нагрузка снималась и осуществлялась проверка положения верхнего торца ненагруженной гранулы  $L_0$ .

3. Обработка результатов эксперимента включала определение:

давления прессования:

$$P_{\text{пр}} = \frac{4R_0}{9,81\pi d^2};$$

давления упругого нагружения:

$$P_i = \frac{4R_i}{9,81\pi d^2};$$

упругой деформации древесной гранулы:

$$\Delta l_i = L_0 - L_i;$$

относительной упругой деформации гранулы:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta l_i}{L_0}.$$

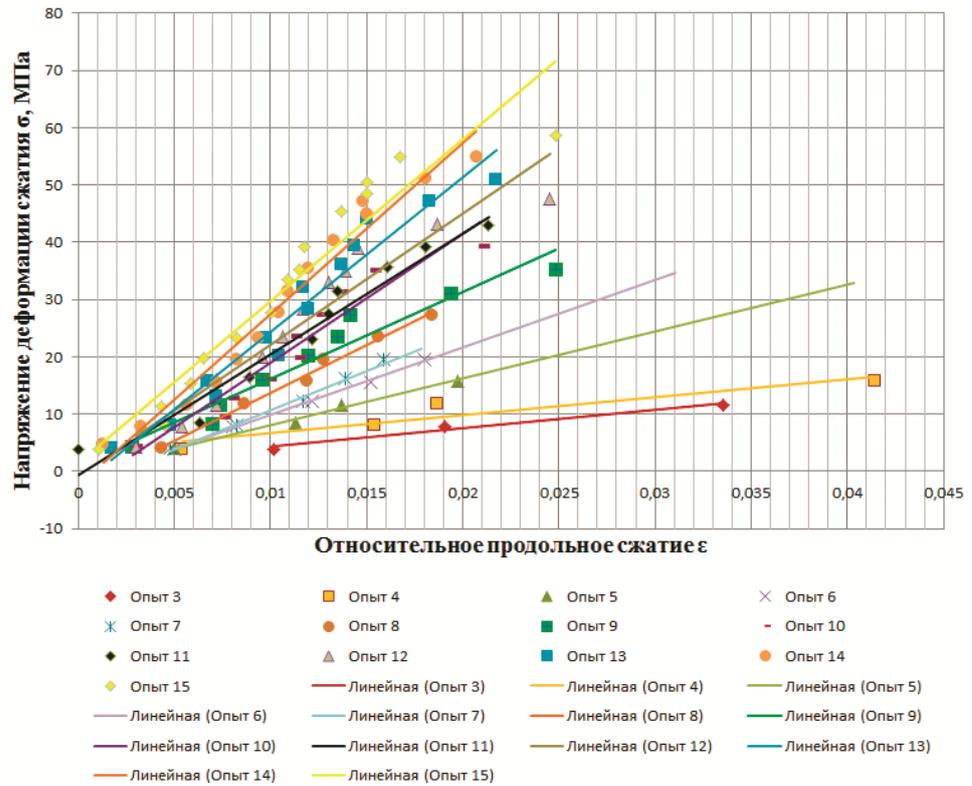


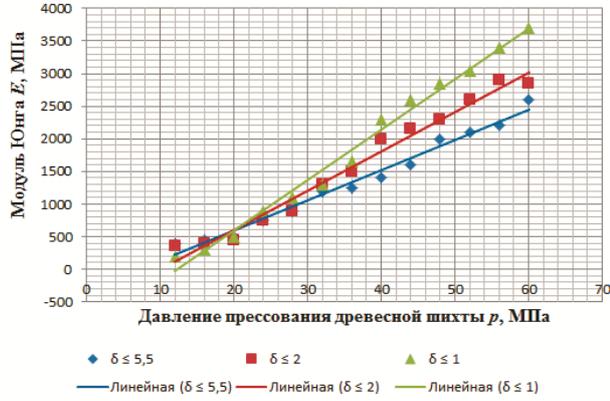
Рис. 2. Зависимость напряжения упругой деформации от относительной линейной деформации древесных гранул (сосна, наибольший размер древесной шихты  $\delta \leq 2$  мм)

Для проведения экспериментальных исследований были взяты опилки из сосны, ели и березы. В исследованиях использовали фракционные остатки сосны с максимальными размерами частиц 5,0; 2,0 и 1,0 мм; ели – 2,0; 1,0; 0,5 мм и менее 0,5 мм; березы – 2,0; 1,0 и 0,5 мм. Используемые навески имели влагосодержание 6,7 %. Усилия прессования гранул  $R_0$  изменялись от 20 до 300 кгс с шагом 20 кгс.

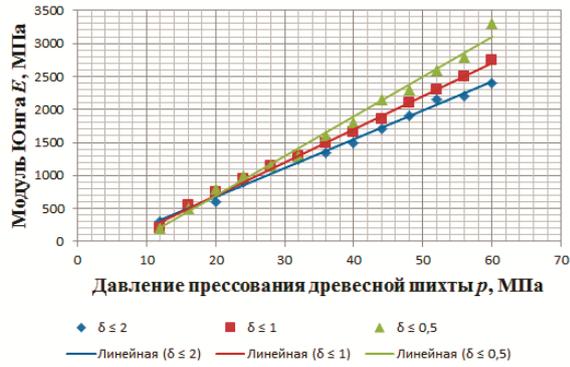
По результатам обработки экспериментальных данных были построены графические зависимости давления сжатия  $p_i$  от относительного продольного сжатия  $\varepsilon_i$  для различных значений давления прессования. Пример такой зависимости представлен на рис. 2, из которого видно, что результаты обработки экспериментальных данных достаточно хорошо описываются линейной зависимостью

$$\sigma = a\varepsilon + b,$$

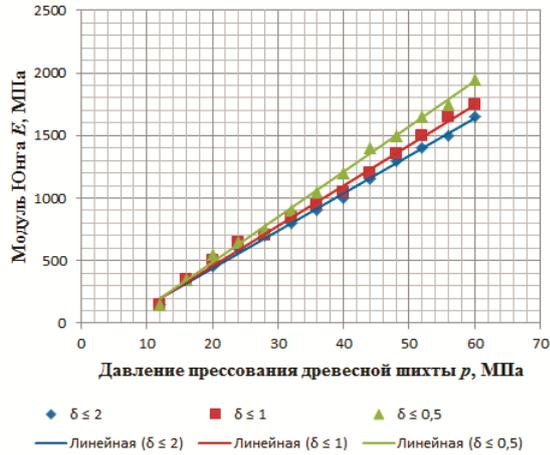
где  $\sigma$  – напряжение деформации сжатия;  
 $a$  – модуль Юнга ( $E$ ).



*a*



*б*



*в*

Рис. 3. Зависимость модуля Юнга древесной гранулы от давления прессования: *a* – сосна, *б* – ель, *в* – береза

По итогам обработки результатов аппроксимации экспериментальных данных по приведенной выше формуле средствами программы Microsoft Excel получены графические зависимости модуля Юнга для древесных гранул в зависимости от давления прессования  $p$  (рис. 3).

#### Выводы

1. Модуль Юнга спрессованных древесных гранул линейно растет с увеличением давления прессования.
2. Плотность древесины, из которой изготовлена древесная шихта, оказывает существенное влияние на модуль Юнга спрессованной гранулы: чем она меньше, тем ниже модуль спрессованной гранулы.
3. Влияние фракционного состава шихты на модуль Юнга носит обратный характер: чем мельче фракционный состав, тем выше модуль Юнга спрессованной гранулы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов И.А. Разработка процесса прессового гранулирования мелкодисперсных сред на примере минеральных порошков и древесных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 25 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. 33–43. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Akintunde M.A. The effects of paper and palm kernel shell on mechanical properties of sawdust briquettes // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. Nov.-Dec. 2012. Vol. 4, Iss. 4. P. 11–16.
4. Carlos Salas-Bringas, Tore Filbakk, Geir Skjevraak, Odd-Ivar Lekang, Olav Hoibo and Reidar Barfod Schyuller. Compression rheology and physical quality of wood pellets pre-handled with four different conditions // Annual transaction of the Nordic Rheology Society. 2010. Vol. 18. P. 87–93.
5. Kuti O.A. Evaluation of composite sawdust briquettes as a high grade fuel for Domestic Cooking // Journal of Engineering and Engineering Technology. 2003. Vol 2, N 2. P. 109–115.
6. Puvaneswaran A.P., Hisham S., Kamil Sued M. Investigation on the mechanical characteristics of sawdust and chipwood filled epoxy // Journal of Mechanical Engineering and Technology. January-June 2011. Vol. 3, N. 1. P. 71–78.

Поступила 07.03.14

UDC 620.9:662.818.6

#### Experimental Determination of the Impact Pressing Pressure of Wood Pellet on the Young's Modulus

*O.D. Myuller, Candidate of Engineering, Associate Professor*  
*V.I. Melehov, Doctor of Engineering, Professor*

*G.L. Gerasimchuk, Postgraduate Student*

*N.M. Klyushin, Senior Lecturer*

*T.V. Tyurikova, Postgraduate Student*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002 Arkhangelsk, Russia; e-mail: ockar@mail.ru

In a number of works on analytical definition of mathematical model of pressing process of a wood pellet in cylindrical channels of a matrix it is shown that on the size of final density and, respectively, quality of the pressed pellet has essential impact the Young's modulus of the pressed wood pellets. In references there are limited data on the Young's modulus for the impregnated gluing material of the crushed wood particles which are used for production of wood-shaving and fiber boards. At the same time there are no reliable data about the Young's modulus for the pressed wood sawdust without the gluing material. For completion of data on the Young's modulus for the pressed wood furnace charge experimental installation on the basis of a manual press was created. For the basic scheme of carrying out experiments the scheme of a wood granule compression in single cylindrical the matrix die was chosen. Techniques on carrying out experiences and processing of experimental data were developed. Experimental measurements of the Young's modulus for wood furnace charge were executed from a birch, a fir-tree and a pine of three fractional structures at change of pressure of furnace charge pressing from 10 to 60 MPa. Processing of results of pilot studies showed: the Young's modulus of wood pellets linearly grows with increase in pressure of pressing; breed of wood of which wood furnace charge is made, has essential impact on the Young's modulus of the pressed pellet, the density of wood of which furnace charge is made is less, the Young's modulus of the pellet pressed from is lower; influence of fractional composition of furnace charge on the Young's modulus has the return character – the smaller fractional structure, the Young's modulus of the pressed pellet is higher; if for whole wood Young's modulus on compression is in limits of 12 GPa for longitudinal compression and about 2 GPa at cross compression, in the pressed whole wood furnace charge with working pressure in the press granulator hesitates ranging from 600 MPa to 2000 MPa, that is it is less, than at whole wood at cross compression.

*Keywords:* wood waste, sawdust, Young's modulus, the pressing pressure, wood pellets, pelleting press, the matrix, die.

#### REFERENCES

1. Bulatov I.A. Razrabotka protsessa pressovogo granulirovaniya melkodispersnykh sred na primere mineral'nykh poroshkov i drevesnykh otkhodov: ...avtoref. kand.diss. [The Development of Press Granulation Process of Fine-Dispersed Sphere for Example, Mineral Powders and Wood Waste: ...Cand.Diss.Abs]. Moscow, 2012.
2. Myuller O.D., Malygin V.I., Lyubov V.K. Vliyanie parametrov tekhnologicheskogo oborudovaniya na kachestvennye pokazateli drevesnykh granul [Effect of Technological Equipment Parameters on Wood Pellets Quality Factors]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 33–43.
3. Akintunde M.A. The effects of paper and palm kernel shell on mechanical properties of sawdust briquettes. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, ISSN: 2278-1684, 2012, vol. 4, iss. 4, pp. 11–16.
4. Carlos Salas-Bringas, Tore Filbakk, Geir Skjevraak, Odd-Ivar Lekang, Olav Hoibo and Reidar Barfod Schyuller. Compression rheology and physical quality of wood pellets

pre-handled with four different conditions. Annual transaction of the Nordic Rheology Society, 2010, vol. 18, pp. 87–93.

5. Kuti O.A. Evaluation of composite sawdust briquettes as a high grade fuel for Domestic Cooking. *Journal of Engineering and Engineering Technology*, 2003, vol. 2, no. 2, pp. 109–115.

6. Puvaneswaran A.P., Hisham S., Kamil Sued M. Investigation on the mechanical characteristics of sawdust and chipwood filled epoxy. *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, January-June 2011, vol. 3, no. 1, pp. 71–78.

Received on March 7, 2014

---

---