

Н. И. Ермоленко, аспирант; И. А. Хмызов, доцент;  
Е. В. Дубоделова, ассистент; Т. В. Соловьева, профессор;  
Ю. В. Максимук, ст. науч. сотрудник НИИ ФХП БГУ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ПОРОДНОГО СОСТАВА СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ

In article the problem of recycling of waste of wood of deciduous breeds due to their use as raw material for manufacture of fuel granules is solved. Influence of technology factors on properties of received wood fuel granules is investigated. The interrelation between parameters of technological process of their reception and rocky structure of wood raw material, and also physicomechanical properties, heat of combustion, ash content is studied. The best technological parameters of manufacturing of fuel granules are established: temperature 125–135°C, pressure 10,0–12,5 MP, duration of process of pressing 4 min, humidity of a material 10–18%. It is shown, that wood waste of deciduous breeds do not concede to waste of coniferous breeds at their use for manufacturing fuel granules, providing sufficient physicomechanical parameters (durability of granules at compression 3,4 MP) and high fuel characteristics (heat of combustion – from 17,49 up to 20,6 MJ/kg, ash content 0,84–1,21%).

**Введение.** На предприятиях лесного комплекса на всех стадиях производственного процесса образуются отходы, которые различают по породному составу, виду, геометрическим размерам и гидротермическому состоянию.

Для хранения древесных отходов лиственных и хвойных пород используют большие площади, что загрязняет окружающую среду. В рамках современных требований к экологичности промышленных производств разрабатываются нормативы, регламентирующие размещение самих производств, а также хранение и переработку отходов. Поэтому становится актуальной задача поиска эффективных способов утилизации отходов. Здесь, в первую очередь, имеется в виду получение из отходов дополнительных продуктов, из которых наибольший интерес представляет топливо.

Изготовление из отходов прессованных материалов (биотоплива) в виде топливных гранул и брикетов без применения связующих веществ является перспективным направлением их использования. Производство прессованного древесного топлива позволяет решить ряд вопросов:

- 1) утилизации различных древесных отходов;
- 2) получения экологически чистого высококалорийного биотоплива;
- 3) обеспечения основному производству статуса малоотходного и экологически чистого;
- 4) снижения затрат на хранение и перевозку топлива в сравнении с кусковыми древесными отходами или топливными дровами;
- 5) получения дополнительной прибыли от реализации топлива [1–5].

Известно, что технологические факторы изготовления прессованных материалов и породный состав используемого древесного сырья оказывают существенное влияние на качество получаемого биотоплива [4]. В настоящее время в большом количестве скапливаются отходы лиственных пород, а именно ольхи и дуба, что

обусловлено широким применением этой древесины в мебельной промышленности. Поэтому интерес представляет изучение показателей качества древесных гранул из отдельных лиственных пород древесины и сравнение их с гранулами из хвойной породы – сосны (традиционно используемой древесиной в производстве гранул и брикетов).

В связи с вышесказанным целью настоящей работы явилось исследование влияния технологических факторов и породного состава сырья на свойства получаемых древесных гранул.

**Основная часть.** Древесные гранулы марки ГД диаметром 6 мм получали в условиях работы предприятия ИП «Вуден Хаус» (г. Слуцк). Параметры технологического процесса получения гранул из хвойных и лиственных пород в период промышленного изготовления соответствовали требованиям утвержденного на предприятии технологического регламента. Образцы были изготовлены при температуре 120°C, время прессования составляло 1,5 мин, влажность сырья колебалась от 8 до 11%, фракционный состав равен 0,5/2, охлаждение гранул проводили до температуры 20°C.

При проведении исследований было установлено, что фракционный состав сырья оказывает значимое влияние на прочность топливных гранул, которая, в свою очередь, определяет транспортабельность продукции на большие расстояния. Из полученных данных (рис. 1) видно, что сосновое сырье позволяет получить гранулы с несколько более высокими прочностными показателями, чем из древесины ольхи. Однако дополнительно проведенный эксперимент показал, что ГД из этой лиственной древесины при равной плотности (от 800 до 1100 кг/м<sup>3</sup>) по прочности мало уступают древесине сосны. На рис. 2 также видно, что для древесины ольхи наблюдается характерный максимум прочности для фракции 0,5/2, что свиде-

тельствует об отсутствии дальнейшего измельчения древесного сырья и снижению энергоемкости процесса.

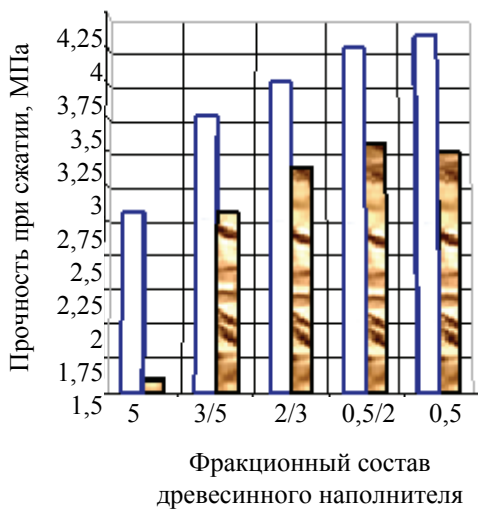


Рис. 1. Влияние фракционного состава древесного сырья на прочность при сжатии древесных гранул: 1 – сосна; 2 – ольха

Для образцов из древесины сосны, ольхи и дуба были определены изотермы адсорбции-десорбции азота на древесных гранулах, по которым можно судить о способности древесного сырья к упрецовыванию и косвенно охарактеризовать плотность и прочность гранул. Полученные результаты приведены на рис. 2.

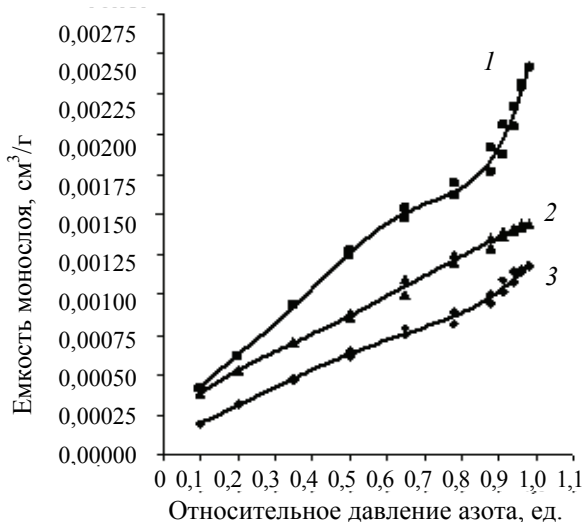


Рис. 2. Изотермы адсорбции-десорбции азота на древесных гранулах разных пород: 1 – дуб; 2 – сосна; 3 – ольха

Анализ показывает (рис. 2), что наименьшей способностью к упрецовыванию обладают образцы из ольхи ( $0,0011782 \text{ см}^3/\text{г}$ ). Сопоставимую по величине способность при несколько большей пористости обеспечивают образцы из сосны –  $0,001445 \text{ см}^3/\text{г}$ . Этим можно объяснить сопостави-

мую прочность полученных образцов при их равной плотности. Из всех исследуемых пород древесина ольхи обладает наименьшей пористостью, поэтому образцы ГД из нее также характеризуются наименьшей пористостью (рис. 2). Вероятно, такая уплотненная структура создает предпосылки для тесного соприкосновения древесных частиц в гранулах и возможности для их адгезионного взаимодействия за счет активированных температурой компонентов древесины [1, 2].

Влияние влажности прессуемого сырья на прочность древесных гранул при их сжатии приведено на рис. 3.

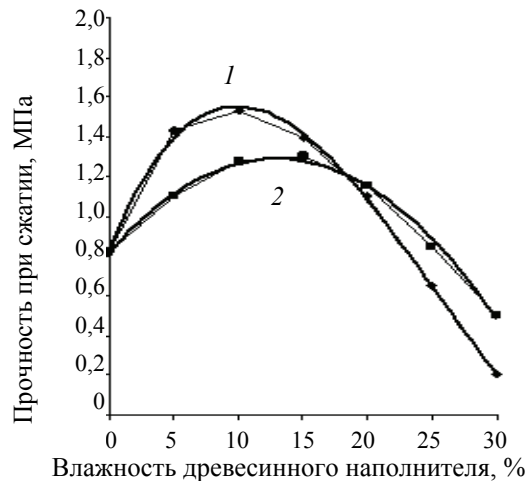


Рис. 3. Влияние влажности сырья на прочность древесных гранул: 1 – сосна; 2 – ольха

Как видно из полученных данных, для древесины сосны оптимальной является влажность 5–7%, что представляет собой достаточно жесткое требование к технологическому процессу, если целью является получение древесных гранул с максимальной прочностью. Для ольхи наблюдается достаточно широкий диапазон допустимой влажности от 10 до 18%, в пределах которого прочность практически не изменяется. Это позволяет использовать древесное сырье различного технологического происхождения и делает мобильным и энергоэффективным (с точки зрения затрат на сушку) технологический процесс. Следует отметить, что увеличение влажности свыше 15% приводит к резкому падению значений прочности гранул из сосны. Так, величина этого показателя при влажности 12% была самой высокой и составляла 1,5 МПа, а при влажности 30% она снизилась до 0,2 МПа. Для древесины ольхи это наблюдается при более высокой влажности (16%) и с меньшей интенсивностью (1,3 и 0,5 МПа соответственно).

Влияние давления прессования на свойства гранул исследовали при изготовлении уплотненного материала из древесного сырья с фракционным составом 0,5/2 при температуре экструзии  $120^\circ\text{C}$  и продолжительности 1,5 мин.

Результаты исследований приведены на рис. 4.

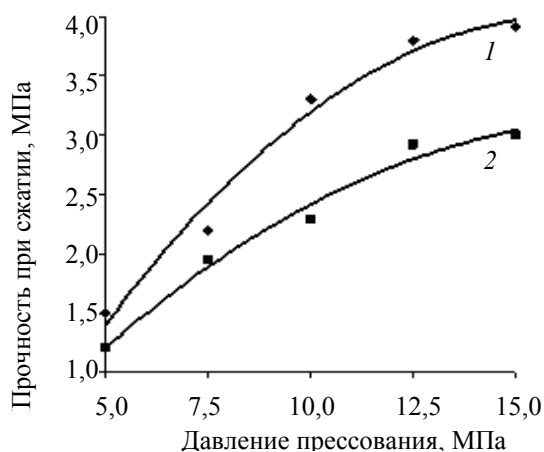


Рис. 4. Влияние давления прессования на прочность древесных гранул при их сжатии: 1 – сосна; 2 – ольха

Как видно из полученных данных, увеличение давления прессования от 5 до 15 МПа закономерно приводит к повышению прочности гранул от 1,2 до 3,9 МПа. Это, на наш взгляд, является следствием снижения пористости материала, сопровождающегося увеличением удельной поверхности контактов между частицами древесного наполнителя. Увеличение давления свыше 12,5 МПа нецелесообразно, так как прирост прочности незначителен. Следует отметить, что увеличение давления прессования древесных частиц из лиственной древесины оказывает меньшее влияние на прочность древесных топливных гранул, чем из хвойной. Это хорошо согласуется с ранее полученными данными по пористости прессованных образцов (рис. 2), так как менее пористый материал обладает низкой чувствительностью к изменению давления.

Известно, что давление прессования и продолжительность прессования тесно связаны: изменение одного из параметров позволяет получить желаемый результат путем соответствующего изменения второго параметра [5].

На рис. 5 приведена зависимость прочности гранул от продолжительности прессования для исследуемых пород древесины.

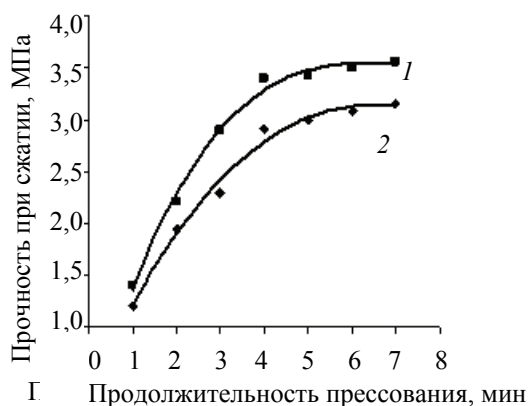


Рис. 5. Влияние продолжительности прессования на прочность древесных гранул: 1 – сосна; 2 – ольха

Существенное повышение прочности от 1,1 до 3,4 МПа наблюдается при увеличении продолжительности прессования до 4 мин. При дальнейшем продолжении прессования процесс уплотнения гранул замедляется и в конечном счете приводит к некоторому снижению их прочности. Это можно объяснить известным конкурированием (при повышенной температуре) процессов поликонденсации и термодеструкции компонентов древесины.

На рис. 6 показано влияние температуры прессования на прочность древесных гранул при их сжатии.

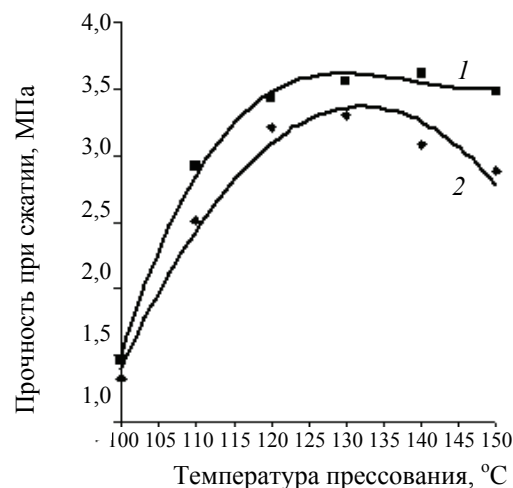


Рис. 6. Влияние температуры прессования на прочность древесных гранул: 1 – сосна; 2 – ольха

Из рис. 6 видно, что для древесины сосны и ольхи повышение температуры прессования от 100 до 130°C способствует существенному увеличению прочности. Можно предположить, что в этом интервале температур более эффективно используются высокореакционные компоненты древесины, такие как гемицеллюлозы и лигнин. Особый интерес вызывает диапазон 125–135°C, в котором происходит пластификация лигнина и гемицеллюлоз, увеличивается их реакционная способность. Это сопровождается образованием дополнительных физико-химических связей между компонентами древесины, а также древесными частицами. С дальнейшим повышением температуры прессования для гранул из хвойной породы величина прочности практически не изменяется и далее при достижении 140°C наблюдается некоторое ее снижение. Следует отметить, что для древесины ольхи при температурах от 100 до 130°C она более монотонно возрастает, а в интервале 140–150°C прочность гранул имеет устойчивую тенденцию к снижению. Это позволяет утверждать, что влияние температуры на прочность древесных гранул для хвойных и лиственных пород неравнозначно. Полученные результаты, по нашему мнению, можно объяснить тем, что при

существенно разным содержании целлюлозы (ольха – 42,7%, сосна – 51,9%) и гемицеллюлоз (30,8 и 20,5% соответственно) рассматриваемые породы различаются и по содержанию такого реакционного компонента, как лигнин. Его содержание в сосновой древесине составляет 28,2%, в древесине ольхи – 22,5%. Увеличение температуры прессования от 140 до 150°C закономерно приводит к снижению прочности древесных гранул из древесины лиственных пород, так как для нее характерно несколько меньшее содержание лигнина и большее содержание гемицеллюлоз.

При помощи метода калориметрии была определена теплота сгорания образцов гранул. Топливные характеристики древесных топливных гранул, полученных из древесины сосны, дуба и ольхи, приведены в таблице.

Таблица

**Топливные характеристики  
древесных гранул**

Показатель	Порода древесины		
	сосна	дуб	ольха
Рабочее топливо			
Влажность, %	6,64	7,33	3,93
Зольность, %	0,25	0,84	1,16
Высшая теплота сгорания, МДж/кг	19,79	18,90	19,80
Низшая теплота сгорания, МДж/к	18,39	17,49	18,43
Сухое топливо			
Зольность, %	0,27	0,91	1,21
Высшая теплота сгорания, МДж/кг	21,2	20,4	20,6

Представленные в таблице данные показывают, что лиственные породы древесины дают достаточное количество тепла при сгорании, сопоставимое с хвойной породой. Наблюдает-

ся некоторое повышение зольности гранул, получаемых из древесины лиственных пород – от 0,25 до 1,16% (для исходного топлива). Следует заметить, что такое увеличение величины этого показателя незначительно и находится в пределах требований действующего стандарта (ТУ РБ 800017886.001-2006).

**Закключение.** Исследование влияния технологических факторов и породного состава сырья на свойства биотоплива показало, что отходы древесины лиственных пород пригодны для использования в качестве сырья для производства топливных гранул. Получаемые гранулы характеризуются высокой теплотой сгорания (от 17,49 до 20,6 МДж/кг) и низкой зольностью (0,84–1,21%).

### Литература

1. Мурзин, В. С. Технология композиционных материалов и изделий: учеб. пособие / В. С. Мурзин. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 1999. – 106 с.
2. Щербаков, А. С. Технология композиционных древесных материалов / А. С. Щербаков, И. А. Гамова, А. В. Мельникова. – М.: Экология, 1992. – 190 с.
3. Ветошкин, Ю. И. Разработка конструкций и технологических процессов изготовления изделий из древесины: учеб. пособие / Ю. И. Ветошкин. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1994. – 80 с.
4. Гомонай, М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технология, режимы работы: учеб. пособие / М. В. Гомонай. – М.: МГУЛ, 2006. – 68 с.
5. В. В. Коробов, Переработка низкокачественного древесного сырья (проблемы безотходной технологии) / В. В. Коробов. – М.: Экология, 1991. – 288 с.