

УДК 674.812:674.836

И. Г. Федосенко

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ,
ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ,
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛ**

Целью исследования стала оценка возможности получения гранул из коры деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, на прессах-грануляторах и исследование их физико-механических характеристик.

Для изучения выбраны преобладающие породы древесины – сосна и береза. Из предварительно измельченной до размеров менее 5 мм и высушенной до 30% коры были изготовлены гранулы диаметром 6 мм. После охлаждения в комнатных условиях, гранулы испытывали на соответствие ISO 17225-2 по влажности, зольности, крошимости и содержанию мелкой фракции.

Испытания показали, что зольность гранул из коры сосны, реализуемой для мульчирования, незначительно превысила допустимую по нормам, однако березовая кора, отобранная с технологического сырья, которое хранилось на грунтовом основании, позволила получить гранулы с содержанием золы на порядок больше нормированного значения. Крошимость гранул из коры сосны также несколько большая, чем нормативная для древесных гранул.

Тем не менее кора деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, вполне может заменить древесину в производстве гранул. Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки нормативных документов на гранулы из коры и специализированного технологического процесса.

Ключевые слова: кора, гранулы, пресс, крошимость, плотность, зольность, влажность.

Для цитирования: Федосенко И. Г. Оценка возможности использования коры деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, для производства гранул // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 284–289.

I. G. Fedosenko

Belarusian State Technological University

**EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING THE BARK OF TREES
GROWING IN THE REPUBLIC OF BELARUS FOR THE GRANULATION**

The aim of the study was to assess the possibility of obtaining granules from the bark of trees growing in the Republic of Belarus on granulating presses and to study their physical and mechanical characteristics.

Pine and birch were selected as the most abundant wood species. Granules with a diameter of 6 mm were made from the pre-crushed bark to a size of less than 5 mm and dried to 30%. After cooling at room conditions, the pellets were tested for compliance with ISO 17225-2 in terms of humidity, ash content, crumbling and fines content.

Tests have shown that the ash content of pellets from the bark of pine intended for mulching slightly exceeded the permissible by the standards, however, the birch bark, selected from the technological raw materials that was stored on a soil base, made it possible to obtain pellets with an ash content an order of magnitude higher than the normalized value. The crumbling of pine bark pellets is also somewhat higher than the standard for wood pellets.

Nevertheless, the bark of trees growing in the Republic of Belarus may well replace wood in the production of pellets. The data obtained indicate the need to develop regulatory documents for bark granules and a specialized technological process.

Keywords: bark, granules, press, crumbling, density, ash content, moisture.

For citation: Fedosenko I. G. Evaluation of the possibility of using the bark of trees growing in the Republic of Belarus for the granulation. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 284–289 (In Russian).

Введение. Отходы деревообрабатывающей промышленности в виде древесной коры не учитываются в балансе предприятия и мало востребованы. Кора составляет 6–25% объема ствола, поэтому вовлечение в товарный объем отходов

окорки древесины целесообразно. Проблема переработки древесной коры в энергоносители остается нерешенной и актуальной во всем мире. Древесная кора может быть эффективно использована в решении энергетических проблем,

однако применение ее в качестве основы для производства энергоэффективного топлива возможно при разработке новых подходов и технологий. Основная часть отходов в виде древесной коры остается практически невостребованной, скапливается на территориях предприятий, вывозится в отвалы, свалки, что ухудшает экологическую и пожароопасную обстановку региона. В то же время проблема утилизации древесной коры при больших запасах остается нерешенной, так как процесс ее подготовки для дальнейшего эффективного использования является более трудоемким, по сравнению с мягкими древесными отходами (стружка, опилки). Из-за особенностей строения, сложности технологической подготовки к утилизации древесная кора пока не нашла широкого применения, хотя имеет перспективные направления использования.

Сжигание коры может быть источником энергии. На энергетическое использование коры деревьев в основном влияет ее зольность, которая намного выше, чем у древесины. J. M. Narkin и J. W. Rowe [1] показали, что средняя теплотворная способность 10 т полностью высушенной коры равна теплотворной способности 7 т угля. Теплотворная способность коры на килограмм аналогична древесине и составляет от 16,20 до 16,23 МДж/кг [2–4]. Отходы коры, производимые в большом количестве, обычно имеют высокое содержание влаги, что значительно снижает эффективность использования энергии, поскольку большая часть энергии требуется для испарения содержащейся влаги. Кора с чистым содержанием влаги более 60% не может быть эффективно сожжена [5]. При использовании коры в виде брикетов ее обычно смешивают с соломой и опилками. Добавление воска увеличивает прочность брикетов из биомассы, но также может снизить содержание влаги. Наиболее важными характеристиками брикетов являются высокая плотность и компактность (от 1,0 до 1,3 г/см³) [6]. Чем больше коры в смеси с древесиной, тем выше зольность; лучшим классом качества была 10%-ная смесь с 0,7%-ной зольностью [7].

Мелехов и другие [8] предложили термомодификацию бересты для изменения физико-механических свойств, что значительно упрощает дальнейшую технологию по превращению ее в прессованное топливо.

L. Gil [9] предложил использовать отходы и пыль, образующиеся при переработке пробки, для выработки энергии, поскольку они имеют высокую теплотворную способность.

I. Obemberger и G. Thek [10] обнаружили, что на плотность прессованного топлива, содержание золы и воды, общую и чистую теплотворную способность и истирание влияет содержание C, H, N, S, Cl, K, а также вредных веществ Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, As и Hg.

Основная часть. Основной целью исследования стала оценка возможности получения гранул из коры деревьев на прессах-грануляторах. Определение и идентификация физических и механических характеристик гранул из коры деревьев, произрастающих на территории Республики Беларусь, является основной задачей.

Главным представителем хвойных пород в Республике Беларусь является сосна (54,8%), а лиственных – береза (18,8%), остальные породы представлены меньше в объеме лесного фонда Республики Беларусь. Так, по данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, ель составляет всего 11%, ольха черная – 8,2%, дуб – 2,9%, осина – 2,2% [11]. Это позволило выделить сосну и березу как основные породы для исследований.

Получение древесных гранул, как объекта исследования, осуществляли на прессе-грануляторе SKJ-200 с плоской матрицей, внешний вид которого представлен на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Пресс-гранулятор:
а – внешний вид; б – камера прессования

Диаметр отверстий в матрице составляет 6 мм, по этой причине кору предварительно подвергли измельчению до размеров менее 5 мм.

Внешний слой коры (корка) выбранных пород обладает некоторой хрупкостью и малым содержанием волокон [12], поэтому показатели механических свойств такого материала невысоки, но это отличный потенциал для измельчения. Измельчение проводили в роторном ножевом измельчителе бытового назначения.

В качестве источника коры сосны была использована товарная мульча с фракцией 0,5–20 мм. В качестве источника коры березы – технологическое сырье, хранившееся на грунтовом основании.

Влажность коры была доведена до 30%. Как показали пробные эксперименты, именно эта влажность наиболее подходила для устойчивого процесса гранулирования и лучшей целостности гранул из коры.

Перед прессованием кора подвергалась тепловой обработке водяным паром, образующимся из влаги, запасенной в коре. Нагрев с выделением насыщенного пара происходил при использовании микроволнового излучения, что ускоряло процесс подготовки и сводило к минимуму продолжительность термического разложения элементов коры. Подготовленный таким образом измельченный материал без добавления сторонних связующих засыпали в пресс-гранулятор с предварительно разогретой парой прессования (валцы – матрица). При этом следили за постоянным уровнем коры на матрице.

Благодаря лигнину и воскоподобным компонентам корки сосны получились довольно устойчивые гранулы. Они имели глубокий темно-коричневый цвет и характерный для качественного продукта блеск, что заметно на фото (рис. 2, а).

Гранулы из коры березы выходили более рыхлыми, и цвет их был не настолько глубокий, поверхность получилась матовой (рис. 2, б).

После выдержки в открытой емкости при комнатной температуре до охлаждения гранулы испытывали по EN Plus v3 (ISO 17225-2 [13]) на влажность, зольность, крошимость и содержание мелкой фракции. Для этого в конце октября 2020 г. во время стажировки на ИООО «WOODS Export» в г. Борисове автор совместно с сотрудниками предприятия провели испытания в современной, полностью укомплектованной заводской лаборатории, контролирующей качество топливных гранул, производимых на предприятии. Предприятие ИООО «WOODS Export» является крупнейшим в Республике Беларусь производителем топливных гранул из хвойных пород древесины.



а



б

Рис. 2. Гранулы из коры:
а – сосны; б – березы

Результаты определения физико-механических свойств гранул из коры представлены таблице.

Свойства гранул из коры

Порода древесины	Влажность, %	Зольность, %	Крошимость, %	Содержание мелочи, %
Сосна	10,9	2,31	94,7	0,1
Береза	4	16,54	–	–

Зольность определяли путем предварительного измельчения гранул в ступе и сжигания навески в 1 г в фарфоровом тигле при температуре $(550 \pm 10)^\circ\text{C}$. Контроль за полнотой сжигания осуществляли взвешиванием пробы через каждые 30 мин до тех пор, пока ее масса не переставала меняться или изменение между смежными взвешиваниями не становилось менее 0,5 мг. Значение зольности определяли как

отношение массы минерального остатка после сжигания к массе навески до сжигания, выраженное в процентах.

По результатам испытаний (рис. 3) зольность гранул из коры сосны составила 2,31%, что превышает на 0,31% допустимое по ISO 17225-2 значение (2%) и является обнадеживающим результатом для потенциального использования коры хвойных деревьев. Тот же показатель для коры березы намного превысил допустимое значение и лишний раз показал, что использовать кору без предварительной мойки не стоит. Условия хранения источника коры березы способствуют дополнительному приобретению минеральных включений, увеличивающих зольный остаток.



Рис. 3. Зольный остаток после сжигания гранул из коры сосны (слева) и березы (справа)

Как известно из предыдущих исследований, значения теплоты сгорания коры превышают значения для породы древесины, с которой кора заготовлена (18–23 МДж/кг) [2, 14]. Этот факт может свести на нет недостаток по зольности.

Содержание мелочи было целесообразно определять только на внешне устойчивых гранулах, т. е. гранулах из коры сосны. Способом просеивания через сито с отверстиями 3,15 мм было установлено, что гранулы из коры сосны почти не имели в своем составе слишком мелкую для использования в качестве топлива фракцию с размером частиц менее 3,15 мм, которых оказалось всего 0,1%.

Устойчивость гранул к механическим воздействиям – крошимость, определялась в специальном приборе (тамблере) согласно ISO 17831-1 при гравитационном ротационном перемешивании в призматической емкости в течение 10 мин.

Оказалось, что после необходимого цикла в гранулах из коры сосны появилась слишком мелкая для использования в качестве топлива фракция с размером частиц менее 3,15 мм, так что годных для топлива гранул осталось 94,7%. Это превышает на 2,8% допустимое по

ISO 17225-2 значение (97,5%) и является также неплохим результатом для потенциального использования коры хвойных деревьев в качестве сырья для гранул.

Дополнительно проверена водостойкость гранул. Для этого было отобрано по одной единице гранул из коры и древесины сосны. При замачивании в течение 3 сут. при комнатной температуре (20 ± 5)°C в дистиллированной воде выяснилось, что гранулы из коры гораздо более устойчивы к повышенной влажности (рис. 4).

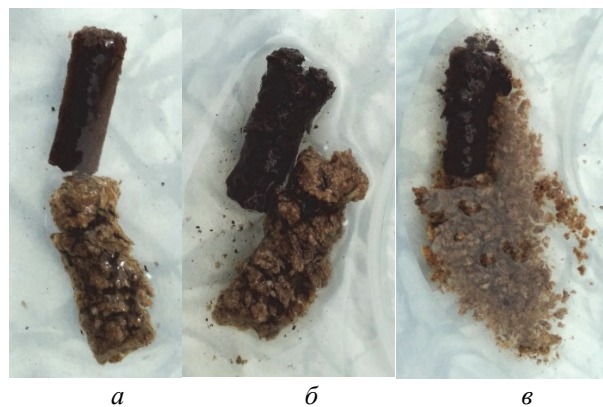


Рис. 4. Целостность гранул при выдержке в воде: а – сутки; б – двое суток; в – трое суток

Так, целостность гранулы из коры сохранялась, даже когда гранула из древесины полностью распалась на частицы.

Заключение. Исследования показали, что кора деревьев, произрастающих в Республике Беларусь, вполне может заменить древесину в производстве гранул, однако требуется дополнительная разработка нормативных документов, регламентирующих физико-механические свойства такой продукции.

Гранулы из коры могут иметь совсем небольшую зольность при предварительной мойке поверхности неокоренной древесины и хранении коры в специальных бункерах или на поверхности, не загрязняющей кору при хранении. Некоторая хрупкость гранул из коры обусловлена слабоволокнистой структурой корки и непроработанными режимами подготовки и прессования этого материала.

Требуется дальнейшее изучение зависимости физико-механических свойств гранул из коры от начальной влажности, температуры и степени сжатия в фильере. Также интерес представляет изучение смеси коры с древесиной при производстве гранул, так как для получения гранул с зольностью и прочностью по ISO 17225-2 потребуются добавление измельченной древесины.

Список литературы

1. Harkin J. M., Rowe J. W. Bark and its possible uses. USDA. Forest Service, Research note, FPL-091. Forest Products Laboratory. Мэдисон, 1971. 56 с.
2. Corder S. E. Properties and uses of bark as an energy source. Research paper 31, Oregon State University, School of Forestry, Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon 97331, 1976. 21 с.
3. Pecznik P., Körmendi P. (szerk.) Hőenergia Gazdálkodás- biomassza Tüzelés, FM Műszaki Int. 1997, Gödöllő. Венгрия, 2002. С. 23–39 (Венгерский).
4. Dibdiakova J., Gjølvsjø S., Wang L. Solid biofuels from forest – fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce biomass in some geographical locations in South Norway. Отчет Norwegian forest and landscape institute. 2014. №. 14/08. 44 с.
5. Molnár S. Faanyagismeret. Венгрия, Будапешт: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, 2004. 471 p. (Венгерский).
6. Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking. University of Oulu, Control Engineering Laboratory. 2005. Отчет А, № 27. 29 с.
7. Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and bioenergy*. 2011. No. 35. P. 3342–3349.
8. Мелехов В. И., Тюрикова Т. В., Пономарева Н. Г. Энергетический потенциал древесной коры в программе ресурсосбережения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 9–3 (20–3). С. 106–110.
9. Gil L. Cork powder waste: an overview. *Biomass and Bioenergy*. 1997. No. 13 (I/2). P. 59–61.
10. Obemberger I., Thek G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior // *Biomass and Bioenergy*. 2004. 27 (6). С. 653–669.
11. Лесной фонд: Официальная страница Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: <https://mlh.by/our-main-activites/forestry/forests/> (дата обращения: 22.03.2021).
12. Melin S. Bark as feedstock for production of wood pellets. Wood pellett asociacion of Canada, 2008. URL: http://www.pellet.org/images/2008-12-11_Bark_as_feedstock_for_Production_of_Wood_Pellets_Report_December_2008.pdf (дата обращения: 22.03.2021).
13. ISO 17225-2 Solid biofuels – Fuel specifications and classes. Part 2: Graded wood pellets. 16 с.
14. Németh K., Molnár S. Az akácfa égésmelegének és fűtőértékének vizsgálata. *Faipar*. 1983. № 33 (3). С. 78–79 (Венгерский).

References

1. Harkin J. M., Rowe J. W. Bark and its possible uses. USDA. Forest Service, Research note, FPL-091, Forest Products Laboratory, 1971. 56 p.
2. Corder S.E. Properties and uses of bark as an energy source. Research paper 31, Oregon State University, School of Forestry, Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon 97331, 1976. 21 p.
3. Pecznik P., Körmendi P. (szerk.) Hőenergia Gazdálkodás- biomassza Tüzelés (Thermal energy management and biomass burning), FM Műszaki Int. 1997, Gödöllő, Hungary, 2002, pp. 23–39 (In Hungarian).
4. Dibdiakova J., Gjølvsjø S., Wang L. Solid biofuels from forest – fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce biomass in some geographical locations in South Norway. Report from Norwegian forest and landscape institute, 2014, no. 14/08. 44 p.
5. Molnár S. Faanyagismeret («Wood material science»). Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, 2004. 471 p. (In Hungarian).
6. Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking. University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005, Report A, no. 27. 29 p.
7. Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and bio-energy*, 2011, no. 35, pp. 3342–3349.
8. Melekhov V. I., Tyurikova T. V., Ponomareva N. G. Energy potential of tree bark in the resource conservation program. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research in the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 9–3 (20–3), pp. 106–110 (In Russian).
9. Gil L. Cork powder waste: an overview. *Biomass and Bioenergy*, 1997, no. 13 (I/2), pp. 59–61.
10. Obemberger I., and Thek G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 27 (6), pp. 653–669.
11. Forest Fund: Official page of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Available at: <https://mlh.by/our-main-activites/forestry/forests/> (accessed 22.03.2021).

12. Melin S. Bark as feedstock for production of wood pellets. Wood pellett asociacion of Canada, 2008. Available at: http://www.pellet.org/images/2008-12-11_Bark_as_feedstock_for_Production_of_Wood_Pellets_Report_December_2008.pdf (accessed 22.03.2021).

13. ISO 17225-2: 2014. Solid biofuels – Fuel specifications and classes. Part 2: Graded wood pellets. 2014. 16 p.

14. Németh K., Molnár S. Az akácfa égésmelegének és fűtőértékének vizsgálata. Faipar, 1983, no. 33 (3), pp. 78–79 (In Hungarian).

Информация об авторе

Федосенко Иван Гаврилович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Information about the author

Fedosenko Ivan Gavriilovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Поступила 22.03.2021