

УДК 674.816.3

**А. А. Макеенко<sup>1</sup>, Г. В. Наумова<sup>1</sup>, И. А. Хмызов<sup>2</sup>, Т. В. Соловьева<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси  
<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

### УПРОЧНЯЮЩИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ФОРМОВАННОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В мировой и отечественной практике непрерывно расширяются объемы производства и потребления древесного формованного топлива. Оно имеет важное значение как для внутреннего рынка, так и для экспорта. В настоящее время в производстве древесного формованного топлива существует проблема разрушения пеллет при транспортировке. Для решения этой проблемы предлагается использовать модифицирующие добавки на основе побочных продуктов химической переработки торфа.

Использованы образцы твердых остатков производства гуминовых препаратов, предоставленные предприятиями, осуществляющими выпуск таких препаратов по технологиям, разработанным Институтом природопользования НАН Беларуси. Применяемые твердые остатки содержат битумы, лигнин, целлюлозу, а также гуминовые вещества.

В лабораторных условиях были изготовлены древесные топливные гранулы (пеллеты) с добавлением твердого остатка производства гуминового препарата «Гидрогумат», а также определены физико-механические показатели пеллет (плотность, предел прочности при изгибе, стойкость к истиранию).

Выявлено, что использование побочных продуктов переработки торфа в топливных гранулах (пеллетах) является перспективным направлением эффективного использования этих побочных продуктов, что обусловлено увеличением прочности формованного топлива при изгибе и стойкости к истиранию.

**Ключевые слова:** побочные продукты, гуминовый препарат, торф, пеллеты, виброустойчивость, прочность при изгибе, утилизация.

**A. A. Makeyenko<sup>1</sup>, G. V. Naumova<sup>1</sup>, I. A. Khmyzov<sup>2</sup>, T. V. Solov'yeva<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus  
<sup>2</sup>Belarusian State Technological University

### STRENGTHENING ADDITIVES FOR FORMATED WOOD FUEL

The volumes of production and consumption of wood molded fuel are continuously expanding in world and domestic practice. It is important for both the domestic market and for exports. Currently, in the production of wood-molded fuel, there is the problem of destruction of pellets during transportation. To solve this problem, it is proposed to use modifying additives based on by-products of chemical peat processing.

Samples of solid residues of production of humic preparations, provided by enterprises producing such preparations using technologies developed by the Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences, Belarus, were used. Used solid residues contain bitumen, lignin, cellulose, as well as humic substances.

In the laboratory, wood pellets were made with the addition of a solid residue of the production of the humic preparation "Hydrohumate", and also depending on the physical and mechanical parameters of pellets (density, flexural strength, abrasion resistance).

It has been revealed that the use of by-products of peat processing in fuel pellets (pellets) is a promising direction for effective use of these by-products, which is due to the increase in the strength of the molded fuel in bending and abrasion resistance.

**Key words:** by-products, humic preparation, peat, pellets, vibration resistance, bending strength, recycling.

**Введение.** В настоящее время формованное древесное топливо является достойной альтернативой традиционным видам биотоплива – дровам, топливной щепе, торфу и др. Оно обладает целым комплексом ценных свойств: достаточно высокой теплотворной способностью, однородностью размеров и формы, является

экологически чистым топливом, технологический процесс его получения сравнительно простой и максимально автоматизирован. Объемы производства и потребления формованного древесного топлива, особенно на бытовом уровне, непрерывно расширяются в мировой и в отечественной практике. Формованное

древесное топливо не только имеет важное значение для внутреннего рынка Республики Беларусь, но также занимает немалую долю в белорусском экспорте. Так, в 2016 году страны ЕС закупили для собственного потребления более 10 млн т древесных пеллет и топливных брикетов. Из Беларуси только через биржевые торги в прошлом году было экспортировано этого топлива 28,2 тыс. т [1].

В настоящее время в производстве формованного древесного топлива существует проблема, связанная с транспортной прочностью готовой продукции: из-за действия вибраций, возникающих при транспортировке, частично разрушается композиция древесного топлива. Следствием этого является потеря товарного вида и качественных характеристик продукции. Для решения данной проблемы предлагается использовать модифицирующие добавки на основе побочных продуктов химической переработки торфа.

Торф является одним из важнейших сырьевых ресурсов нашей республики, запасы которого составляют порядка 4 млрд. т. В последние годы торф рассматривается не только как источник энергии, но и как ценное сырье для переработки. Одним из направлений глубокой химической переработки торфа в нашей республике является производство гуминовых препаратов, которые используются в качестве регуляторов роста растений, консервантов силосуемых кормов, биологически активных добавок к рационам животных и минеральным удобрениям, а также применяются в лечебных целях в физиотерапии и ветеринарии [2].

Основными современными способами получения гуминовых препаратов, используемых в условиях Беларуси, являются окислительная деструкция торфа в щелочной среде, а также его последовательный кислотно-щелочной гидролиз [3]. При производстве гуминовых препаратов образуются твердые остатки, которые содержат целый комплекс органических веществ. Предварительные исследования показывают, что твердые остатки от химической переработки торфа содержат битумы, лигнин, целлюлозу, а также гуминовые вещества, хотя основное их количество переходит в жидкую фазу. В настоящее время эти остатки направляют на поля аэрации, используют при выращивании вермикультуры и в качестве добавки к компостам. Однако окончательного решения по их эффективному использованию не имеется [4].

В ближайшие годы намечается строительство в Минской области на базе торфяного месторождения «Гуршовка-Чертово» крупного комбината по глубокой химической переработ-

ке торфа, в рамках которого будет организовано расширенное промышленное производство гуминовых препаратов [5]. В связи с этим ассортимент гуминовых препаратов и гуматсодержащих удобрений будет существенно увеличиваться, что также поднимает вопрос об использовании эффективных методов утилизации образующихся отходов.

В соответствии с анализом материального баланса, изложенного в технологических регламентах, установлено, что при выпуске 1 т регулятора роста растений «Гидрогумат» расходуется около 300 кг тростниково-осокового торфа (50% влажности) и образуется 260 кг твердого остатка (80% влажности). Таким образом, в пересчете на сухое вещество торфа (150 кг) образуется 52 кг сухого твердого остатка, что свидетельствует о том, что в настоящее время 34% от прогидролизованной массы уходит в качестве побочного продукта.

Учитывая, что производство и применение гуминовых препаратов в последние годы существенно расширяется, рациональное использование побочных продуктов данных производств является важной экологической и экономической задачей.

**Основная часть.** В данной работе поставлена цель по выявлению возможности применения побочных продуктов химической деструкции торфа в качестве добавки к древесным формованным топливам для повышения прочности. Для исследования были отобраны образцы побочных продуктов производства гуминовых препаратов на действующих малотоннажных установках, осуществляющих выпуск таких препаратов по технологиям, разработанным Институтом природопользования НАН Беларуси.

В лабораторных условиях кафедры химической переработки древесины БГТУ были изготовлены древесные топливные гранулы (пеллеты) с добавлением твердого остатка производства гуминового препарата «Гидрогумат», а также определены физико-механические показатели пеллет (плотность, предел прочности при изгибе, стойкость к истиранию). Получение образцов проводили при следующих условиях: температура плит пресса 160°C, усилие прессования 10 т/с, время прессования 10 мин [6].

После проведения испытаний были получены следующие значения физико-механических показателей пеллет, представленные в табл. 1.

Таким образом, при внесении незначительного количества данной добавки в композицию пеллет их прочность при изгибе увеличивается на 30% по сравнению с контрольными значениями.

Таблица 1  
Физико-механические показатели пеллет

Наименование показателя	Средние значения показателей	
	Пеллеты без добавки	Пеллеты с добавкой
Толщина, $10^{-2}$ м	1,082	1,073
Масса, $10^{-3}$ кг	20,5679	20,5077
Плотность, $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	1,056	1,053
Предел прочности при изгибе, МПа	6,71	8,95

Также с помощью лабораторного вибростанка (HAVER EML 200 digital plus) были проведены испытания гранул на стойкость к истиранию (виброустойчивость). В приборе применялся набор из шести круглых сит диаметром 200 мм, которые имеют сетчатые квадратные ячейки с размерами 5; 3; 2; 1,0; 0,5; 0,25 мм. В основании установлена чаша, собирающая пыль. Набор сит накрыт крышкой и закреплен на установочной площадке стяжными гайками. Площадка вместе с ситами приводится во вращательно-поступательное движение с одновременным встряхиванием в течение 10 мин. По окончании отсева сита разбирали, каждую фракцию взвешивали с точностью до 0,001 г. Количественное содержание фракции в навеске выражали в процентах к общей массе. Номер фракций обозначали размерами сит, между которыми она была собрана, например 2/1, 1/0,5 и т. д. Стойкость к истиранию (виброустойчивость) характеризуется содержанием фракции пыли (0,25/0) [7].

В табл. 2 представлено распределение пеллет по фракциям в процентном соотношении.

Из табл. 2 видно, что, благодаря добавлению побочных продуктов производства препарата «Гидрогумат» в композицию пеллет, за-

метно снижается доля мелких фракций, т. е. пеллеты становятся более виброустойчивыми. Так, судя по фракции пыли (0,25/0), при введении этой добавки в композицию пеллет в незначительных количествах их стойкость к истиранию увеличивается на 36%.

Таблица 2  
Распределение пеллет по фракциям

Номер фракции, мм	Пеллеты без добавки, %	Пеллеты с добавкой, %
-/5 (неразрушенные)	96,53	97,79
5/3	0,03	0,00
3/2	0,08	0,04
2/1	0,59	0,40
1,0/0,5	1,04	0,73
0,5/0,25	0,97	0,65
0,25/0 (пыль)	0,75	0,44

**Заключение.** Использование побочных продуктов переработки торфа, содержащих гуминовые вещества и прочие органические соединения, положительно влияет на физико-химические показатели древесных композитов, в данном случае на примере топливных гранул (пеллет). Таким образом, при внесении 0,3% добавки в композицию пеллет прочность при изгибе увеличивается на 30%. Наблюдается увеличение стойкости к истиранию на 36% в сравнении с контрольными образцами.

Следовательно, применение данных побочных продуктов химической переработки торфа в топливных гранулах (пеллетах) является перспективным направлением их утилизации, что обусловлено улучшением эксплуатационных свойств формованного топлива: увеличением прочности формованного топлива при изгибе и стойкости к истиранию.

### Литература

1. Жибуль Е. Экспорт древесных пеллет. В Беларуси с каждым годом становится больше потребителей пеллет [Электронный ресурс]. URL: <http://lesgazeta.by/economy/cena-voprosa/v-belarusi-s-kazhdym-godom-stanovitsja-bolshe-potrebitelej-pellet.html> (дата обращения: 09.04.2018).
2. Томсон А. Э., Наумова Г. В. Торф и продукты его переработки. Минск: Беларуская навука, 2009. 328 с.
3. Бамбалов Н. Н. Использование торфа в качестве органического сырья для химической переработки // Химия твердого топлива. 2012. № 5. С. 6–12.
4. Лиштван И. И., Терентьев А. А. Физико-химические основы технологии торфяного производства. Минск: Наука и техника, 1983. 230 с.
5. Ковалев К. Месторождения помогут остановить деградацию сельхозугодий. Белорусские ученые вместе с китайским инвестором будут развивать добычу торфа [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sb.by/articles/mestorozhdeniya-pomogut-ostanovit-degradatsiyu-selkhozugodiy.html> (дата обращения: 29.03.2018).
6. Вавилов А. В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии: монография. Минск: Стринко, 2012. 147 с.
7. Биотопливо твердое. Определение механической прочности гранул и брикетов: СТБ EN 15210-1-2011. Введ. 01.07.2012. Минск: БелГИСС, 2011. 12 с.

### References

1. Zhibul' E. *Eksport drevesnykh pellet. V Belarusi s kazhdym godom stanovitsya bol'she potrebiteley pellet* [Export of wood pellets. There are more pellet consumers every year in Belarus]. Available at: <http://lesgazeta.by/economy/cena-voprosa/v-belarusi-s-kazhdym-godom-stanovitsja-bolshe-potrebitelej-pellet.html> (accessed 09.04.2018).
2. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and products of processing]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 328 p.
3. Bambalov N. N. Use of peat as an organic raw material for chemical processing. *Khimiya tverdogo topliva* [Chemistry of solid fuels], 2012, no. 5, pp. 6–12 (In Russian).
4. Lishtvan I. I., Terent'ev A. A. *Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii torfyanogo proizvodstva* [Physical and chemical foundations of the technology of peat production]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1983. 230 p.
5. Kovalev K. *Mestorozhdeniya pomogut ostanovit' degradatsiyu sel'khozugodiy. Belorusskie uchenye vmeste s kitayskim investorom budut razvivat' dobychu torfa* [Deposits will help stop the degradation of farmland. Belarusian scientists together with the Chinese investor will develop the extraction of peat]. Available at: <http://lesgazeta.by/economy/cena-voprosa/v-belarusi-s-kazhdym-godom-stanovitsja-bolshe-potrebitelej-pellet.html> (accessed 29.03.2018).
6. Vavilov A. V. *Pellety v Belarusi: proizvodstvo i polucheniye energii: monografiya* [Pellets in Belarus: production and energy recovery: monograph]. Minsk, Strinko Publ., 2012. 147 p.
7. STB EN 15210-1-2011. Solid biofuels. Methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes. Minsk, BelGISS Publ., 2011. 12 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Макеенко Александр Александрович** – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории экотехнологий. Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси (220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10, Республика Беларусь). E-mail: makeenko1507@mail.ru

**Наумова Галина Васильевна** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории экотехнологий. Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси (220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10, Республика Беларусь). E-mail: altom@ecology.basnet.by

**Хмызов Игорь Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: 220232008z@gmail.com

**Соловьева Тамара Владимировна** – доктор технических наук, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: soloueva@belstu.by

### Information about the authors

**Makeyenko Alexandr Alexandrovich** – PhD student, Junior Researcher, the Laboratory of Ecotechnologies. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: makeenko1507@mail.ru

**Naumova Galina Vasil'yevna** – DSc (Engineering), Professor, Chief Researcher, the Laboratory of Ecotechnologies. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: altom@ecology.basnet.by

**Khmyzov Igor' Anatol'evich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 220230082z@gmail.com

**Solov'yeva Tamara Vladimirovna** – DSc (Engineering), Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: soloueva@belstu.by

Поступила 10.04.2018