

УДК 674.815

**Н. А. Сычева, И. А. Хмызов, А. В. Молчан, Т. А. Белодед, Т. В. Соловьева**  
Белорусский государственный технологический университет

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА**

Проведенные исследования показали, что прочностные свойства пеллет, полученных из древесины лиственных пород, уступают пеллетам из традиционно используемой древесины сосны. С целью их повышения исходное древесное сырье модифицировали добавками белковой природы (альбумином, казеином, желатином) и крахмалсодержащими (крахмалом картофельным и кукурузным, крахмальной патокой) путем распыления через форсунки в шнеке подачи непосредственно перед гранулированием. Для повышения прочности пеллет применение белковых клеев оказалось более эффективным, чем крахмальных клейстеров. Альбумин в этом качестве представил особый интерес. Для проведения промышленных испытаний была разработана технология модификации измельченной древесины с его использованием в производстве пеллет.

Проведенные испытания образцов пеллет из модифицированной древесины показали полное соответствие их качества группе 1 (по СТБ 2027): влажность пеллет составила 10%, зольность – 0,7%, содержание древесной пыли при истирании – 0,8%; теплотворная способность – 17 640 кДж/кг.

**Ключевые слова:** модификация древесины, технология пеллет, белковые клея, крахмальные клейстеры, механическая прочность.

**N. A. Sycheva, I. A. Khmyzov, A. V. Molchan, T. A. Beloded, T. V. Solov'yeva**  
Belarusian State Technological University

### **DEVELOPMENT OF MODIFICATION TECHNOLOGY OF WOOD RAW MATERIAL IN PRODUCTION OF SOLID BIOFUEL**

Studies have shown that the mechanical properties of the pellets produced from hardwoods yield pellets traditionally used pine. In order to improve their original wood raw material modified by the addition of protein nature (albumin, casein, gelatin) and starch (potato starch and maize, starch syrup) by spraying through nozzles in the screw feeder directly before granulation. To increase the strength of pellets application proteinaceous adhesives has proved more effective than the starch paste. Albumin as presented in this particular interest. To carry out industrial testing technology was developed modifications of chopped wood with its use in the production of pellets.

The tests samples of modified wood pellets showed full compliance with them as a group 1 (in 2027 STB) Humidity pellets was 10%, ash content – 0.7%, the wood dust abrasion – 0.8%; calorific value – 17,640 kJ/kg.

**Key words:** modification of the wood, technology of pellets, protein adhesive, starch adhesive, mechanical strength.

**Введение.** В настоящее время в результате широкого использования древесины сосны в деревообрабатывающих производствах образуются отходы, количество которых может колебаться от 5 до 60% в зависимости от типа производства. Часть этих отходов утилизируется на самих предприятиях, часть вывозится, продается в виде щепы или сырья на производства целлюлозно-бумажного или плитного комплексов, а также твердого биотоплива (пеллеты) [1]. В то же время, учитывая все возрастающий спрос на пеллеты, возникла проблема дефицита сырья для их производства. Это вызвало необходимость использования малоценных насаждений мягколиственных пород древесины, таких как береза и ольха, которые являются быстрорастущими и сравнительно маловостребованными. Поэтому целью исследований являлось проведение работ в направлении замены в технологии пеллет дорогостоящей и дефицитной древесины хвойных по-

род на более дешевую и доступную древесину мягколиственных пород.

**Основная часть.** В лабораторных условиях кафедры химической переработки древесины получали образцы пеллет из отходов древесины березы и ольхи. Образец сравнения изготавливали из традиционно используемых мягких отходов древесины сосны. Для получения пеллет высокого качества соблюдали рекомендуемые диапазоны значений влажности исходного сырья от 8 до 11%, зольности – не более 0,7% и размера частиц – от 0,5 до 1,0 мм.

Испытания образцов пеллет проводили в соответствии с принятыми методиками в СТБ 2027: определение влажности по EN 14774-1:2009, зольности – по EN 14775:2009, плотности – по EN 15150:2005, насыпной плотности – по EN 15103:2005, теплотворной способности – по EN 14918:2005, механической прочности – по EN 15210-1:2009 (на основе определения содержания древесной пыли при истирании) [2].

Проведенные исследования при сравнении результатов использования древесины сосны и смешанной композиции из древесины ольхи и березы в соотношении 1:1 показали, что прочностные свойства лабораторных образцов пеллет, полученных из древесины лиственных пород, уступают пеллетам из традиционной древесины сосны. С целью повышения этих свойств в состав исходного древесного сырья вводили добавки белковой природы (альбумин, казеин, желатин) и крахмалсодержащие (крахмал картофельный и кукурузный, крахмальную патоку). Эти вещества могут проявлять свойства клея, что и предопределило их выбор в качестве связующего для получения пеллет. Кроме того, они нетоксичны, являются экологически чистыми, способны образовывать минимальное количество вредных газов при сжигании и не изменяют зольность пеллет в силу своей органической природы. На рис. 1 и 2 представлены данные о влиянии расхода добавок на показатели предела прочности при сжатии и изгибе пеллет.

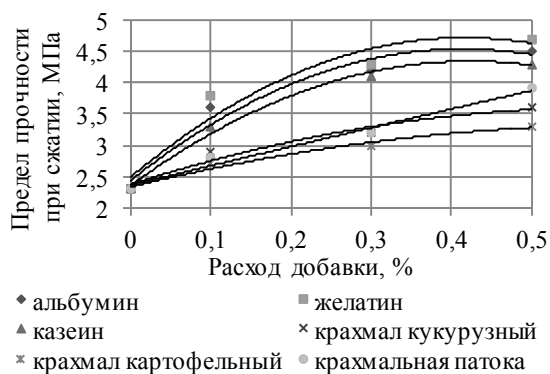


Рис. 1. Влияние расхода добавок на предел прочности пеллет при сжатии

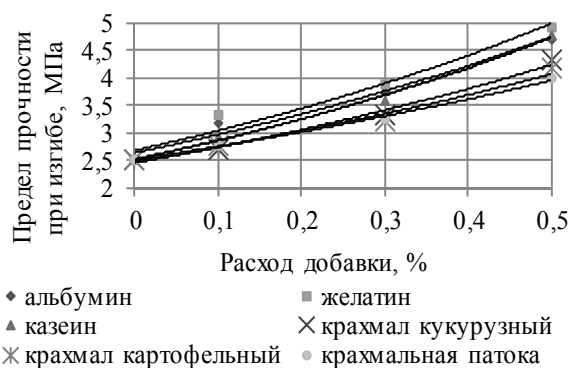


Рис. 2. Влияние расхода добавок на предел прочности пеллет при изгибе

Как видно из графических зависимостей, при использовании всех названных добавок с расходом 0,5% значения предела прочности при сжатии и изгибе пеллет возрастают с повышением их расхода в диапазоне от 0,1 до 0,5%. Наиболее эффективными добавками в этом отношении проявили себя альбумин и желатин.

Результаты определения показателя содержания древесной пыли при истирании пеллет (по СТБ 2027), характеризующего сохранность их прочности во времени, при использовании добавок с расходом 0,5% представлены на рис. 3.

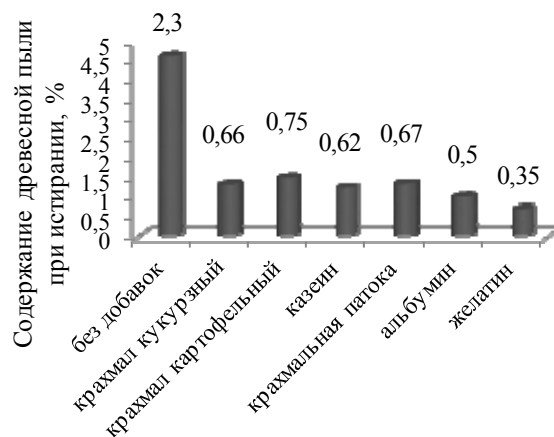


Рис. 3. Влияние добавок на содержание древесной пыли при истирании

Согласно СТБ 2027 количество пыли, образующееся при истирании пеллет, должно составлять не более 0,8% для группы 1. Как видно из рис. 3, все образцы пеллет, полученные с использованием добавок расходом 0,5%, по данному показателю соответствуют требованиям стандарта. Наименьшее количество пылевидной фракции образовалось при испытании пеллет из древесины, обработанной желатином и альбумином. Содержание пылевидной фракции по сравнению с образцом пеллет без введения добавок уменьшилось с 2,3 до 0,35 и 0,5% соответственно. Это позволило заключить, что для повышения прочности пеллет применение белковых клеев более эффективно, чем крахмальных клейстеров. Альбумин в этом качестве представил особый интерес. Известно [3], что он является природным полимером, построенным из остатков  $\alpha$ -аминокислот, соединенных пептидными связями. Пептидная связь характеризуется сопряжением  $\pi$ -электрона азота с углеродом и кислородом, в результате чего она имеет характер частично двойной связи, способной разрываться в процессе химических превращений с образованием новых функциональных групп. Аминокислоты же, из которых состоит альбумин, содержат большое число функциональных групп, таких как карбоксильные и аминогруппы, которые имеют склонность к химическому взаимодействию с компонентами древесины и, связываясь с ними, повышают их реакционную способность, в том числе в реакциях поликонденсации. Вполне вероятно, что именно такие взаимодействия участвовали в повышении прочности пеллет.

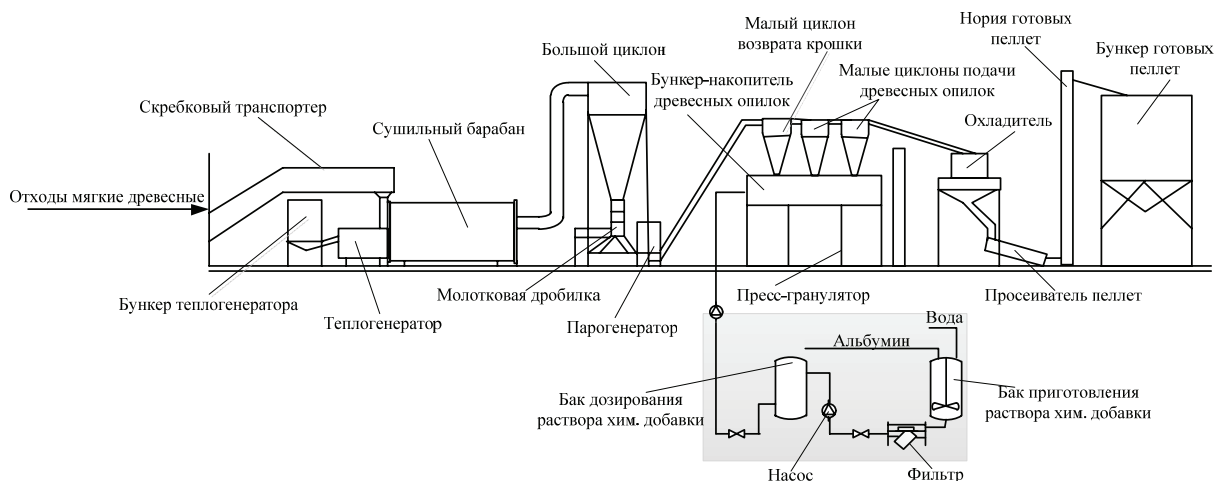


Рис. 4. Технологический схема получения пеллет из мягких древесных отходов и альбумина

Учитывая широкую доступность альбумина, для проведения промышленных испытаний была разработана технология модификации измельченной древесины с его использованием в производстве пеллет. Технологический процесс получения пеллет из мягких древесных отходов в виде опилок с введением в их состав альбумина применительно к производственной линии Государственного предприятия «Беларусьторг» представлен на рис. 4.

При получении пеллет согласно технологической схеме, приведенной на рис. 4, мягкие древесные отходы высушивали до влажности 8–11% и подавали в дробилку, где они измельчались до размера частиц 0,5–1,0 мм. Раствор альбумина готовили путем растворения порошкообразного альбумина в воде с температурой  $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 1,5 ч с получением 10%-го раствора. Раствор альбумина распыляли через форсунки на измельченные древесные частицы в шнеке подачи непосредственно перед гранулированием. Затем полученная древесная масса поступала в пресс-гранулятор. Образование пеллет происходило за счет интенсивного сжатия при повышенной температуре древесной массы, в результате чего она приобретала цилиндрическую форму в виде гранул. Готовые пеллеты охлаждались путем выдерживания в охладителе и упаковывались. При этом технические изменения производства пеллет не отразились на его технологических параметрах: процесс гранулирования проводили при давлении 5–10 МПа и температуре 100–120°C. Объем выпуска опытно-промышленной партии составил 51 т. В качестве образцов сравнения были приняты пеллеты, выпущенные по принятой на производственной линии филиала ГП «Беларусьторг» технологии для древесины сосны. В таблице представлены значения основных показателей качества группы 1 и 2 согласно СТБ 2027 и результаты испытаний полученных пеллет.

#### Показатели качества пеллет

Наименование показателя	Требования СТБ 2027		Образцы пеллет, отобранные	
	группа 1	группа 2	до выпуска опытной партии	в период выпуска опытной партии
Влажность, %, не более	10	12	6,1	5,5
Зольность, %, не более	0,7	1,5	0,42	0,40
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200 ± 200		1275	1295
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	650 ± 150		600	650
Теплотворная способность, кДж/кг, не менее	17 500		17 570	17 640
Содержание древесной пыли при истирании, %, не более	0,8	2,3	1,84	0,5

Как видно из таблицы, пеллеты, полученные с использованием альбумина, обладают высокой теплотворной способностью и по прочности и плотности превосходят пеллеты из древесины сосны (при сопоставимых значениях влажности и зольности).

**Закключение.** Разработана технология модификации древесного сырья, включающая в технологический процесс производства пеллет участок приготовления и введения в их состав 10%-го раствора альбумина с расходом 0,5%. Технология апробирована в промышленных условиях на производственной линии филиала ГП «Беларусьторг» с выпуском опытной партии пеллет, соответствующей требованиям качества для группы 1 по СТБ 2027: влажность – 5,5%, зольность – 0,4%, содержание древесной пыли при истирании – 0,5%, теплотворная способность – 17 640 кДж/кг.

### Литература

1. Вавилов А. В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии: монография. Минск: Стринко, 2012. 147 с.
2. Гранулы древесные топливные: СТБ 2027-2010. Введ. 01.07.10. Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь: БелГИСС, 2010. 20 с.
3. Файвишевский М. Л. Переработка непищевых отходов мясоперерабатывающих предприятий. СПб: ГИОРД, 2000. 256 с.

### References

1. 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.
2. STB 2027-2010. Wood fuel pellets. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus', BelGISS Publ., 2010. 20 p.
3. Fayvishevskiy M. L. *Pererabotka nepishchevykh otkhodov myasopererabatyvayushchikh predpriyatiy* [Processing of non-food wastes of meat processing plants]. St. Petersburg: GIORД Publ., 2000. 256 p.

### Информация об авторах

**Сычева Наталия Александровна** – аспирант кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [natalka\\_wow@mail.ru](mailto:natalka_wow@mail.ru)

**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](mailto:220232008z@gmail.com)

**Молчан Александр Викторович** – соискатель кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [a.molchan@tut.by](mailto:a.molchan@tut.by)

**Белодед Татьяна Александровна** – магистрант кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [4ilica@mail.ru](mailto:4ilica@mail.ru)

**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](mailto:soloueva@belstu.by)

### Information about the authors

**Sycheva Nataliya Alexandrovna** – graduate student, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [natalka\\_wow@mail.ru](mailto:natalka_wow@mail.ru)

**Khmyzov Igor' Anatol'evich** – Ph. D. Engineering, associate professor, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [220230082z@gmail.com](mailto:220230082z@gmail.com)

**Molchan Alesandr Viktorovich** – applicant, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [a.molchan@tut.by](mailto:a.molchan@tut.by)

**Beloded Tat'yana Aleksandrovna** – undergraduate student, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [4ilica@mail.ru](mailto:4ilica@mail.ru)

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