УДК 676.73
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРТОНА, ОБРАБОТАННОГО БИОМОДИФИЦИРОВАННЫМ ГЛЮТЕНОМ*

И.В. Захаров[1], асп.
Н.Л. Захарова[1], асп.
А.В. Канарский[1], д-р техн. наук, проф.
Е.О. Окулова[2], асп.
Я.В. Казаков [2], д-р техн. наук, доц.
Д.А. Дулькин[2], д-р техн. наук, проф.
[1]Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: zaharvv1991@mail.ru, nlzaharova@mail.ru, alb46@mail.ru
[2]Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

Для придания прочности в сухом и влажном состояниях на волокнистые материалы наносятся традиционные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиэтилентерефталат), а также в композицию вводятся формальдегидные смолы. Однако такие волокнистые материалы плохо подвергаются вторичной переработке и не подлежат экономически эффективной утилизации. В связи с этим поиск полимерных веществ для улучшения свойств волокнистых материалов весьма актуален. Цель наших исследований – разработка способа ферментативной обработки растительных белков, предназначенных для улучшения физико-механических и деформационных характеристик волокнистых материалов. В качестве растительного белка был использован глютен пшеничный, получаемый из возобновляемых источников растительного сырья. В соответствии с поставленной целью разработан биокаталитический способ обработки глютена, позволяющий получить биополимер с необходимыми реологическими свойствами и технологически пригодный для нанесения на волокнистые материалы. Показано влияние ферментных препаратов протеолитического и ксиланазного действия на физико-механические и деформационные характеристики волокнистых материалов. Применение биомодификации растительного биополимера – глютена, позволяет снижать энергозатраты на производство и получать биоразлагаемые волокнистые материалы. Практическая значимость представленной работы обусловлена заменой формальдегидных смол, используемых для производства нетканых материалов, бумаги, картона, древесноволокнистых плит, на биомодифицированные растительные полимеры. Пропитка волокнистого материала глютеном, обработанным фер-

---

*Статья подготовлена по материалам IV Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти проф. В.И. Комарова (14–16 сент. 2017 г., г. Архангельск).

Для цитирования: Захаров И.В., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Окулова Е.О., Казаков Я.В., Дулькин Д.А. Физико-механические свойства картона, обработанного биомодифицированным глютеном // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 135–144. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

ментными препаратами, увеличивает прочностные и деформационные характеристики: растяжимость – до 29 %, жесткость – до 96 %, разрушающую нагрузку – до 54 %, влагопрочность – до 54 % по отношению к контрольному образцу картона. Полученные результаты показывают потенциальную возможность применения биокаталической обработки глютена для улучшения физико-механических свойств бумаги и картона.

Ключевые слова: глютен, ферментативная обработка глютена, картон, физико-механические свойства картона.

Введение

Связующие вещества применяют для улучшение прочностных характеристик бумаги. Усиливая связи между волокнами эти вещества повышают прочность бумаги и картона, устраняют пыление и выщипывание отдельных волокон и даже целых слоев бумаги с поверхности листа при нанесении печати липкими красками, увеличивают сомкнутость бумаги, улучшают отделку поверхности бумаги на суперкаландре. Кроме того, они способствуют улучшению проклейки бумаги гидрофобизирующим клеем, делая ее более надежной и стабильной: бумага не расклеивается при хранении.

Связующие вещества могут быть введены в массу или нанесены на поверхность бумаги. Проклейка массы гораздо проще и не требует дополнительной сушки бумаги, однако расход проклеивающего вещества несколько больше, так как часть его теряется со сточными водами. Поверхностная проклейка бумаги и картона на клеильном прессе или на отдельном станке экономична, так как отсутствуют потери проклеивающего вещества. При этом бумага и картон приобретают новые положительные свойства по сравнению с проклеенными в массе. Эти материалы становятся однороднее по сторонам листа, устойчивее к изменению относительной влажности воздуха, меньше скручиваются. Однако в технологической линии после поверхностной проклейки требуется установка дополнительного оборудования для сушки. Тем не менее поверхностная проклейка бумаги и картона все шире применяется в целях улучшения свойств материалов, а клеильный пресс становится неотъемлемой частью многих современных бумагоделательных машин [4].

Поверхностная обработка крахмалом, как нативным, так и биомодифицированным, положительно сказывается на деформационных свойствах картона [7].

Один из экономически выгодных и эффективных способов повышения прочности и жесткости бумаги и картона из вторичного сырья – добавление в массу связующих веществ [10], в частности растительных белков. Число связующих материалов, применяемых в бумажном и картонном производстве, растет, появляются новые весьма эффективные синтетические материалы, обладающие высокой связующей способностью и придающие бумаге прочность не только в сухом, но и во влажном состоянии.

В работах [13–15] изучена проклейка картона растительными белками в нативном состоянии с варьированием расхода белка до 15 %. Потенциал белка как компаунда не использовался. Поэтому целесообразно исследовать биомодификацию растительных белков для снижения их расхода и повышения физико-механических характеристик картона.

В настоящее время наблюдается применение ферментных препаратов в технологии изготовления бумаги и картона. Амилазы, ксиланазы, целлюлазы, липазы, эстеразы, протеазы – все эти ферменты рекомендуются к использованию или уже используются при подготовке различных волокнистых полуфабрикатов для производства бумаги и картона [3, 6, 8, 9, 11, 12].

Прикладное значение ферментов в качестве реагентов для технологических процессов в настоящее время растет в связи с привлечением внимания к проблемам экологии производства, развитию «зеленых» технологий и биотехнологий. Поиск и применение биокатализаторов для использования в различных отраслях промышленности – главные тенденции развития современной биотехнологии. Ферменты – биокатализаторы химических процессов, представляют собой биологически активные белки, функционирующие в условиях, благоприятных для жизни организмов, из которых они выделены.

Белковая природа ферментов обеспечивает мягкие условия работы катализатора, позволяет регулировать технологический процесс, варьируя его режимные параметры, способствует ресурсо- и энергосбережению. Расширение специфичности и диапазона действия ферментных препаратов существенно повышает интерес к биокатализаторам в различных отраслях промышленности [1, 2].

Учитывая перечисленное выше, целесообразно изучать модификации растительного белка при проклейке бумаги и картона.

Цель настоящего исследования – разработка способа ферментативной обработки растительных белков, используемых в процессе пропитки волокнистых материалов, для улучшения их физико-механических и деформационных характеристик.

Для достижения цели решались следующие задачи:

приготовление компаундов на основе глютена с использованием ферментов;

определение физико-механических и деформационных характеристик картона, пропитанного глютеном, предварительно обработанным ферментами.

Объекты и методы исследования

В экспериментах использовался картон тароупаковочный толщиной 200 мкм с нанесенным покрытием на основе глютена пшеничного (ГОСТ Р 53511), обработанного ферментными препаратами протеолитического (нейтраза – 1,5 мг) и ксиланазного (пентопан моно БГ, пентопан 500 БГ, фунгамил супер АХ) действия.

Биокаталически обработанный глютен наносился на картон с варьированием расхода от 3,0 до 10,0 % (по отношению к абсолютно сухой массе картона). Получены следующие образцы (см. таблицу):

1 – пропитка в щелочной среде, расход биокаталитически обработанного нейтразой глютена – 3,0 %;

2 – пропитка в щелочной среде, расход глютена – 3,3 %, ферментный препарат – пентопан 500 БГ;

3 – пропитка в щелочной среде, расход глютена – 9,0 %, ферментный препарат – фунгамил супер АХ;

4 – пропитка в кислой среде, расход глютена – 3,3 %, ферментный препарат – пентопан моно БГ совместно с нейтразой;

5 – пропитка в кислой среде, расход глютена – 9,0 %, ферментный препарат – пентопан 500 БГ совместно с нейтразой;

6 – пропитка в кислой среде, расход глютена – 3,7 %, ферментный препарат – фунгамил супер АХ совместно с нейтразой.

Глютен, использованный для пропитки, обрабатывался ферментными препаратами в течение 24 ч при температуре 50 °С и постоянном перемешивании во встряхивателе с водяной баней. Картон в виде прямоугольника 5 × 10 см пропитывался погружением одной стороны в раствор приготовленного компаунда, при этом одна часть глютена впитывалась в структуру материала, другая – формировалась на поверхности в виде пленки.

Образцы пропитанного картона сушили контактным способом, принятым в ЦБП.

Для оценки физико-механических и деформационных свойств волокнистых материалов использовали стандартные методы. Толщину определяли микрометром в нескольких точках, за результат принимали среднее значение (ГОСТ 27015), жесткость при изгибе – на приборе Messmer Buchel 116-BD (ГОСТ ISO 2493), разрушающую нагрузку и удлинение – при обработке индикаторных диаграмм «нагрузка–удлинение», полученных при испытании на растяжение на разрывной машине «Тестсистема 101» (ГОСТ Р ИСО 1924-2 «Бумага и картон. Метод определения прочности при растяжении. Ч. 2. Метод растяжения с постоянной скоростью»), влагопрочность при кратковременном смачивании – по ГОСТ 13525.7 «Бумага и картон. Методы определения влагопрочности».

Все испытания проводили на образцах картона шириной 15 мм, вырезанных в продольном (MD) и поперечном (CD) направлениях. При испытаниях на растяжение рабочая длина образцов составляла 50 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения деформационных и прочностных характеристик исследованных образцов в MD и CD направлениях представлены в таблице и на рисунке.

Сводная таблица характеристик образцов картона

Образец	Масса картона-основы, г	Количество нанесенного покрытия, %	Толщина, мкм	Жесткость при изгибе MD/CD, мН·см	Разрушающая нагрузка при растяжении MD/CD, Н		Разрушающее удлинение MD/CD, мм		Влагопрочность при кратковременном смачивании MD/CD, %
					сухих	влажных	сухих	влажных	
К*	2,7	–	199	3,71/1,13	178,1/76,7	61,8/23,5	1,39/3,36	0,86/2,08	34,7/30,6
1	2,71	2,95	224	–	141,3/74,1	45,9/14,7	1,36/3,07	0,87/2,47	32,5/19,9
2	2,72	3,30	216	4,78/1,63	164,3/79,3	87,7/29,7	1,35/3,22	1,11/2,59	53,4/37,4
3	2,69	8,90	219	4,46/1,38	207,7/85,4	95,4/24,8	1,35/2,71	1,05/2,11	45,9/29,0
4	2,73	3,30	226	–	162,6/74,4	59,4/27,8	1,09/3,49	0,82/2,19	36,6/37,4
5	2,69	8,90	244	4,46/1,38	154,4/72,0	27,3/7,2	0,75/3,42	0,77/2,19	17,7/10,0
6	2,64	3,70	225	7,27/–	135,7/74,6	40,3/12,0	1,06/3,51	0,79/2,05	29,7/16,1

К* – контроль.

Модификация глютена при испытании пропитанного им картона в сухом состоянии:

нейтразой (образец 1) – уменьшает прочность на разрыв и растяжимость в продольном и поперечном направлениях; дальнейшее увеличение расхода препаратов для пропитки не повышает показатели физико-механических свойств картона, однако жесткость образца, пропитанного нейтразой (3,0 %), по отношению к контрольному образцу увеличивается на 30 % в продольном и поперечном направлениях;

пентопаном 500 БГ (образец 2) – снижает прочность на разрыв и растяжимость в продольном и поперечном направлениях, дальнейшее повышение массы пропитки не приводит к увеличению показателей физико-механических свойств; жесткость при изгибе у образца, пропитанного этим препаратом (3,3 %), по отношению к контрольному образцу в продольном направлении увеличивается на 30 %, в поперечном – на 48 %;

фунгамилом супер АХ (образец 3) – увеличивает прочность на разрыв в продольном направлении на 16,6 %, в поперечном – на 11,3 %, а также снижает растяжимость в продольном и поперечном направлениях;

пентопаном моно БГ совместно с нейтразой (образец 4) – снижает прочность на разрыв в продольном и поперечном направлениях, а также увеличивает растяжимость в поперечном направлении на 3,8 %;

фунгамилом совместно с нейтразой (образец 6) – повышает прочность на разрыв и растяжимость в продольном и поперечном направлениях.

Модификация глютена при испытании пропитанного им картона во влажном состоянии:

нейтразой (образец 1) – уменьшает прочность на разрыв при увеличении растяжимости в поперечном направлении (на 18 %);

пентопаном 500 БГ (образец 2) – повышает прочность на разрыв в продольном и поперечном направлениях на 42 и 26 %, растяжимость – соответственно на 29 и 24 %, влагопрочность при кратковременном смачивании – соответственно на 54 и 22 %;

фунгамилом супер АХ (образец 3) – увеличивает прочность на разрыв в продольном и поперечном направлениях на 54,4 и 5,6 %, растяжимость в продольном направлении – на 22 %, влагопрочность при кратковременном смачивании – на 32 % в продольном направлении, жесткость при изгибе в продольном и поперечном направлениях – соответственно на 25,8 и 44,0 %;

пентопаном моно БГ совместно с нейтразой (образец 4) – приводит к росту прочности на разрыв в поперечном направлении на 18,7 %, растяжимости в поперечном направлении – на 5 %, влагопрочности при кратковременном смачивании – в продольном и поперечном направлениях соответственно на 5,3 и 22,4 %;

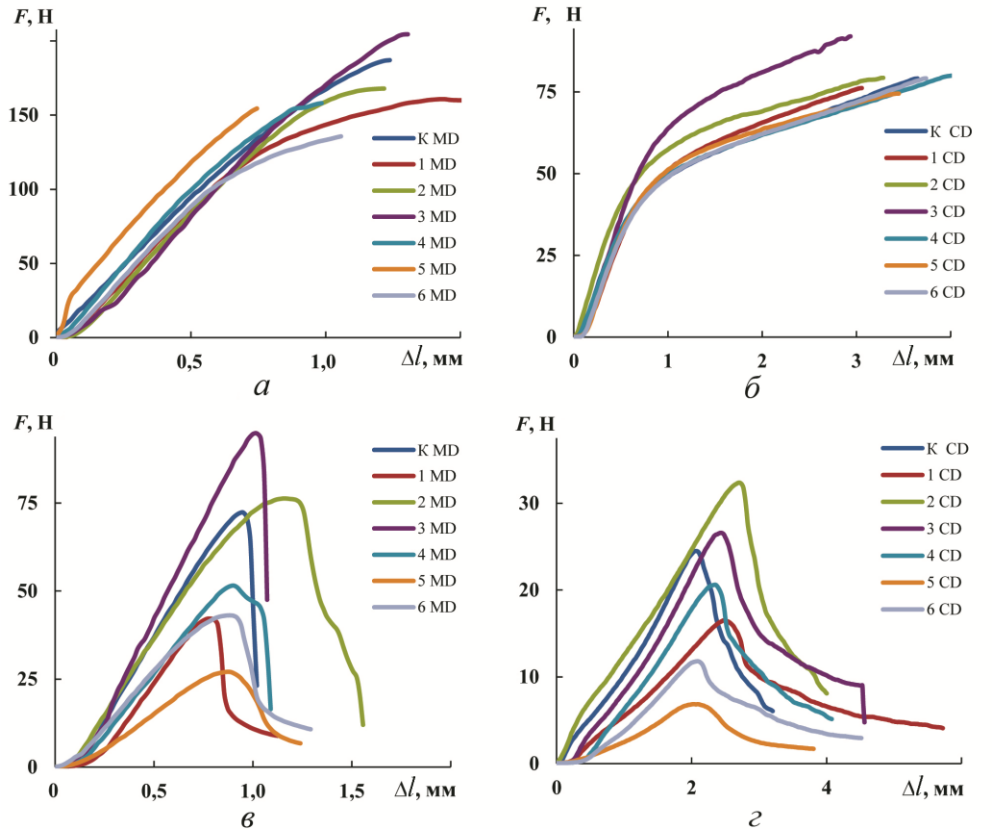
пентопаном 500 БГ совместно с нейтразой (образец 5) – приводит к чрезмерному (в 3 раза) уменьшению прочности на разрыв и растяжимости в продольном и поперечном направлениях при испытании картона во влажном состоянии, однако жесткость при изгибе в продольном и в поперечном направлениях увеличивается на 20 %;

фунгамилом совместно с нейтразой (образец 6) – приводит к чрезмерному (в 2 раза) снижению прочности на разрыв и растяжимости в продольном и поперечном направлениях при испытании картона во влажном состоянии, однако жесткость при изгибе в продольном направлении повышается на 96 %.

Следует отметить, что использование растворов пропитки, приготовленных в кислой среде, не дает положительных результатов, кроме увеличения жесткости образцов.

Деформационные свойства материала характеризуют графики зависимости нагрузки от удлинения (см. рисунок), полученные и обработанные по методике Комарова–Казакова [5]. На рисунке показаны средние зависимости нагрузки от удлинения.

Анализ диаграмм позволяет сделать вывод о том, что пропитка глютеном изменяет характер деформирования картона. Жесткость непропитанного картона обеспечивается межволоконными силами связи и жесткостью фиксации волокон в структуре. Поэтому для макулатурных образцов максимальная жесткость отмечена не в начале кривой деформирования, а после распрямления волокон. Структура картона, пропитанного глютеном и содержащего на поверхности белковую пленку, гарантирует повышенную жесткость при растяжении уже на начальном участке деформирования за счет увеличения количества водородных связей между волокнами целлюлозы и глютеном. Дополнительный вклад в жесткость структуры вносит белковая пленка на поверхности картона, после разрушения которой при деформациях выше 0,1 мм резко снижается жесткость образцов, что выражается в уменьшении угла наклона кривых деформирования.



Графики зависимости «нагрузка–удлинение», полученные при испытании на растяжение образцов картона, пропитанного модифицированным глютеном: *а*, *б* – сухие образцы; *в*, *г* – влажные образцы; *а*, *в* – в продольном направлении; *б*, *г* – в поперечном направлении

Заключение

Таким образом, пропитка картона компаундом на основе глютена, предварительно обработанного фунгамилом супер АХ и пентопаном 500 БГ, по сравнению с использованием других ферментных препаратов позволяет в наибольшей степени улучшить деформационные и прочностные характеристики картона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болотова К.С., Новожилов Е.В.* Применение ферментных технологий для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 5–23.

2. *Захаров И.В., Канарский А.В, Сидоров Ю.Д.* Влияние сшивателей на температуру размягчения биоразлагаемых пленочных материалов на основе крахмала // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2016. Т. 19, № 16. С. 108–111.

3. *Захаров И.В., Михайлова О.С., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Казаков Я.В.* Применение биомодифицированных полисахаридов и растительных белков в производстве волокнистых материалов // Биотехнологии: состояние и перспективы развития: материалы IX Междунар. конгресса. Т 2. М., 2017. С. 234–236.

4. *Иванов С.Н.* Технология бумаги. 3-е изд. М., 2006. 696 с.

5. *Комаров В.И., Казаков Я.В.* Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2000. № 3(12). С. 52–62.

6. *Медведева С.А., Тимофеева С.А.* Биотехнологии для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажной промышленности (Современное состояние) // Безопасность в техносфере. 2013. Т. 2, № 3. С. 28–34.

7. *Михайлова О.С., Крякунова Е.В., Канарский А.В., Казаков Я.В., Манахова Т.Н., Дулькин Д.А.* Влияние биомодифицированного картофельного крахмала на деформационные и прочностные свойства картона // Лесн. журн. 2016. № 4. С. 157–164. (Изв. высш. учеб. заведений).

8. *Новожилов Е.В.* Применение ферментных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: моногр. Архангельск: САФУ, 2013. 364 с.

9. *Новожилов Е.В., Пошина Д.Н.* Биотехнологии в производстве целлюлозы для химической переработки (Обзор) // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 15–32.

10. *Фляте Д.М.* Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 440 с.

11. *Bajpai P.* Biotechnology for Pulp and Paper Processing. Boston, USA: Springer, 2012. 414 p.

12. Enzymes in Industry: Production and Applications / by ed Aehle W. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, 2004. 484 p.

13. *Gällstedt M., Brottman A., Hedenqvist M.S.* Packaging-Related Properties of Protein- and Chitosan-Coated Paper // Packaging Technology and Science. 2005. Vol. 18, iss. 4. Pp. 161–170.

14. *Khwaldia K., Arab-Tehrany E., Desobry S.* Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2010. Vol. 9, iss. 1. Pp. 82–91.

15. Protein and Starch Surface Sizings for Oil and Grease Resistant Paper: pat. US 6790270 B1, 2003 / Billmers R.L., Mackewicz V.L., Trksak R.M.

Поступила 16.09.17

UDC 676.73

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

Physical and Mechanical Properties of Cardboard Processed by Biomodified Gluten

I.V. Zakharov*[1]*, *Postgraduate Student*
N.L. Zakharova*[1]*, *Postgraduate Student*
A.V. Kanarskiy*[1]*, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*
E.O. Okulova*[2]*, *Postgraduate Student*
Ya.V. Kazakov*[2]*, *Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor*
D.A. Dul'kin*[2]*, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

For citation: Zakharov I.V., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V., Okulova E.O., Kazakov Ya.V., Dul'kin D.A. Physical and Mechanical Properties of Cardboard Processed by Biomodified Gluten. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 135–144. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

[1]Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: zaharvv1991@mail.ru, nlzaharova@mail.ru, alb46@mail.ru
[2]Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

Traditional plastics (polyethylene, polypropylene, polystyrene, polyethylene terephthalate) are usually applied to reinforce fibrous materials in dry and wet conditions, and formaldehyde resins are also introduced into the composition. However, such fibrous materials are not easily recycled and are not subject to cost-effective disposal. In this regard, the search for polymeric substances to improve the properties of fibrous materials is very relevant. The goal of research is to develop a method for enzymatic treatment of plant proteins to improve the physical and mechanical and deformation characteristics of fibrous materials. We use wheat gluten, obtained from renewable sources of plant raw materials, as plant protein. In accordance with the goal, a biocatalytic method for treating gluten is developed. This mechanism allows obtaining a biopolymer with the necessary rheological properties, which is technologically suitable for application to fibrous materials. The effect of enzymatic preparations of proteolytic and xylanase action on the physical and mechanical and deformation characteristics of fibrous materials is demonstrated. Biomodification of plant biopolymer – gluten, allows reducing energy consumption and producing biodegradable fibrous materials. The practical importance of the article is due to the replacement of formaldehyde resins used for the production of nonwovens, paper, cardboard, fiberboard with biomodified plant polymers. Gluten impregnation of fibrous material, treated with enzyme preparations, increases the strength and deformation characteristics: extensibility – up to 29 %, stiffness – up to 96 %, crippling load – up to 54 %, wet-strength – up to 54 % in comparison with check samples. The obtained results show the potential application of gluten biocatalytic treatment to improve the physical and mechanical properties of paper and cardboard.

Keywords: gluten, enzymatic treatment of gluten, cardboard, physical and mechanical properties of cardboard.

REFERENCES

1. Bolotova K.S., Novozhilov E.V. Primenenie fermentnykh tekhnologiy dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva [Enzymes Application for Improving Ecological Safety of Pulp and Paper Industry]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2015, no. 3, pp. 5–23.

2. Zakharov I.V., Kanarskiy A.V., Sidorov Yu.D. Vliyanie sshivateley na temperaturu razmyagcheniya biorazlagaemykh plenochnykh materialov na osnove krakhmala [Effect of Crosslinkers on the Softening Temperature of Biodegradable Film Materials Based on Starch]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2016, vol. 19, no. 16, pp. 108–111.

3. Zakharov I.V., Mikhaylova O.S., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V., Kazakov Ya.V. Primenenie biomodifitsirovannykh polisakharidov i rastitel'nykh belkov v proizvodstve voloknistykh materialov [Application of Biomodified Polysaccharides and Plant Proteins in the Production of Fibrous Materials]. *Biotekhnologii: sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy IX Mezhdunar. kongressa* [Biotechnologies: State and Prospects of Development: Proc. 9th Intern. Congress]. Moscow, 2017, vol. 2, pp. 234–236. (In Russ.)

4. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow, 2006. 696 p. (In Russ.)

5. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. Analiz mekhanicheskogo povedeniya tsellyulozno-bumazhnykh materialov pri prilozhenii rastyagivayushchey nagruzki [Analysis of Mechanics of Pulp and Paper Materials when Applying a Tensile Load]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2000, no. 3, pp. 52–62.

6. Medvedeva S.A., Timofeeva S.A. Biotekhnologii dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti (Sovremennoe sostoyanie) [Biotechnologies for Improvement of Environmental Safety Related to Pulp and Paper Industry (Actual Status)]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere], 2013, vol. 2, no. 3, pp. 28–34.

7. Mikhaylova O.S., Kryakunova E.V., Kanarskiy A.V., Kazakov Ya.V., Manakhova T.N., Dul'kin D.A. Vliyanie biomodifitsirovannogo kartofel'nogo krakhmala na deformatsionnye i prochnostnye svoystva kartona [The Influence of Modified Potato Starch on the Cardboard Deformation and Strength Properties]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 4, pp. 157–164.

8. Novozhilov E.V. *Primenenie fermentnykh tekhnologiy v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Application of Enzymatic Technologies in the Pulp and Paper Industry]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2013. 364 p. (In Russ.)

9. Novozhilov E.V., Poshina D.N. Biotekhnologii v proizvodstve tsellyulozy dlya khimicheskoy pererabotki (obzor) [Biotechnologies in the Cellulose Production for Chemical Processing (a Review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2011, no. 3, pp. 15–32.

10. Flyate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 440 p. (In Russ.)

11. Bajpai P. *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*. Boston, USA, Springer, 2012. 414 p.

12. Aehle W., ed. *Enzymes in Industry: Production and Applications*. Weinheim, Germany, Wiley-VCH Verlag, 2004. 484 p.

13. Gällstedt M., Brottman A., Hedenqvist M.S. Packaging-Related Properties of Protein- and Chitosan-Coated Paper. *Packaging Technology and Science*, 2005, vol. 18, iss. 4, pp. 161–170.

14. Khwaldia K., Arab-Tehrany E., Desobry S. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2010, vol. 9, iss. 1, pp. 82–91.

15. Billmers R.L., Mackewicz V.L., Trksak R.M. *Protein and Starch Surface Sizings for Oil and Grease Resistant Paper*. Patent US 6790270 B1, 2003.

Received on September 16, 2017