

УДК 532.133, 676.022.04
DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.60

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОМОДИФИЦИРОВАННОГО ГЛЮТЕНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КАРТОНА

И. В. Захаров, Н. Л. Захарова, А. В. Канарский

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Российская Федерация, 420015, Казань, ул.К.Маркса, 68
E-mail: alb46@mail.ru

Установлено специфическое влияние ферментных препаратов и аминокислоты, которыми обрабатывался глютен, на реологические свойства картона. Установлено, что кинематическая вязкость глютенa увеличивается при обработке фунгaмилoм и липoпанoм на 15 %. Показаны оптимальные концентрации ферментного препарата для биомодификации глютенa. Установлено, что увеличение вязкости раствора ферментативной обработкой приводит к повышению прочностных и деформационных характеристик картона во влажном состоянии.

Ключевые слова: глютен; ферментативная обработка; реология; прочностные и деформационные характеристики картона.

Введение. Глютен пшеничный является интересной альтернативой обычным пластиковым материалам [1]. Клейковина способна образовывать плёночные материалы и поэтому может использоваться в качестве покрытия для картона. Кроме того, плёнки клейковины показывают хорошие барьерные свойства, необходимые для упаковки пищевых продуктов. Плёнка из нативного глютенa хрупкая, что требует изменения структуры путём химического сшивания.

Прочность на растяжение и удлинение клейковины можно улучшить с помощью сшивающих агентов, таких как глутаровый альдегид [2], полиамидоамин-эпихлоргидрин и триметилпропантриацетат [3], глиоксаль, госсипол и формальдегид [4].

Количество дисульфидных связей уменьшается с добавлением меркаптоэта-

нола [5], дитиотреитола [6]. Однако эти материалы вредны и токсичны для людей.

Картон, обработанный глютенoм, был разработан и проанализирован как упаковочный материал. В работе [7] исследовано влияние глицерина и олеиновой кислоты на плёнки клейковины при нанесении на картон. Важно, что при увеличении концентрации олеиновой кислоты паропроницаемость уменьшается с относительно небольшим изменением механической прочности. Пропитка картона глютенoм показывает увеличение прочностных характеристик [8].

Биополимеры в качестве барьерных покрытий для бумажной промышленности могут заменить существующие синтетические материалы. Они основаны на возобновляемых ресурсах и предлагают многочисленные благоприятные экологические преимущества, такие как биоразлагаемость, нетоксичность и биосовместимость по сравнению с обычными синтети-

© Захаров И. В., Захарова Н. Л., Канарский А. В., 2018.

Для цитирования: Захаров И. В., Захарова Н. Л., Канарский А. В. Влияние реологических свойств биомодифицированного глютенa на прочностные и деформационные свойства картона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 3 (39). С. 60–67. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.60

ческими полимерами¹ [9]. Биополимерные покрытия для картона представляют собой полисахариды (крахмал, производные целлюлозы, хитозан, альгинаты), белки (казеин, сыворотка, коллаген, соя и пшеничный глютен [10]), липиды (пчёл и карнаубский воск и свободные жирные кислоты) и полиэфиры (полигидроксиканоаты и полимолочная кислота) [11,12].

Авторами исследовано использование биомодифицированного глютена с целью увеличения физических, механических и деформационных характеристик при пропитке картона [13], также повышение устойчивости картона к старению пропиткой биомодифицированным глютенем картона [14]. Глютен представляет собой растительный белок, состоящий из полимерных глютеинов и мономерных глиадинов. Глютеины состоят из дискретных субъединиц полипептида, соединённых межцепочечными дисульфидными связями с образованием полимеров с высокой молекулярной массой. Глютен имеет широкий диапазон молекулярных масс от тысячи до миллиона дальтон. Как дисульфидная, так и водородная связи играют ключевую роль в структуре и свойствах белков клейковины пшеницы [15,16]. Клейковина нерастворима в нейтральной воде, хотя она растворяется в водных растворах с высоким или низким pH.

Ферментные препараты используются для модификации структуры белка. Например, гидролазы гидролизуют крахмал и некрахмальные полисахариды, что приводит к увеличению гибкости сети клейковины и повышению реакционной способности к образованию новых связей. Трансферазы представляют собой клей протеинов на молекулярном уровне путём образования ковалентных связей между ε-

аминогруппами из свободной или боковой цепей лизина одного белка и γ-карбоксамидных групп глутамина другого белка [17]. Эти связи довольно прочны, устойчивы к температуре и протеолизу. В этом случае фермент трансглютаминазы сам по себе не реагирует, но является биокатализатором, то есть фермент просто помогает сшить отдельные участки молекул белка в единую сеть.

Основной вопрос заключается в том, как применять белок к картону. Когда водный раствор белка наносят на картон валиком (мокрое формование), белок может проникать в пористую структуру целлюлозы, а бумага и белки могут состоять из уникальной взаимопроникающей системы. Если толщина является высокой, можно предположить, что обработка белка влияет главным образом на поверхностные свойства картона. При ламинировании плёнки клейковины (термоформования) важно, чтобы адгезия плёнки была достаточной для обеспечения хороших механических свойств, исключающих расслаивание. Обычно в пластмассовой промышленности нагрев при высокой температуре пластиковой плёнки приводит к хорошим адгезионным свойствам. В противном случае не будет достаточно термостойких или адгезионных свойств клея для нанесения на картон, поэтому адгезионные свойства белкового покрытия важны для применения в бумажной промышленности.

Необходимо изучить влияние реологических свойств биомодифицированного глютена на прочностные и деформационные характеристики картона.

Цель исследования – определить влияние кинематической вязкости раствора биомодифицированного глютена на прочностные и деформационные характеристики картона.

Методика исследования. Коллоидные растворы клейковины (2,0 г / 100 мл раствора) получали путём смешивания порошка глютена с 40 % (5 мл / 100 мл

¹ Патент США 8328989B2. D21H17/28, D21H17/22. J. G. Renirie, J. A. Van Der Meijden, J. J. Plijter, J. J. Van Soest. Продукт на основе муки, его приготовление и использование.

раствора молочной кислоты) в дистиллированном водном растворе с помощью гомогенизатора T18 Ultra Turrax со скоростью 14000 об/мин в течение 5 мин. Затем к каждой отдельной колбе добавляли различные ферментные препараты и аминокислоту в концентрациях 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1 % от массы глютена. Готовили 30 образцов и один контроль (водный раствор глютена без добавления ферментного препарата). Колбы устанавливали для ферментации во встряхивающем инкубаторе 3033 с амплитудой перемешивания 25 мм и скоростью 105 об/мин при температуре 50 °С в течение 24 часов. Для инактивации фермента образцы нагревали до температуры 90–95 °С в течение 10 минут магнитной мешалкой RSM-02HP. Получение плёнок клейковины проводили путём литья на плексигласе с добавлением 85 % глицерина (3 г / 10 г клейковины) с последующей сушкой в сушилке UFB 400 в течение 10 часов при температуре 40 °С.

Динамическую вязкость измеряли с использованием микровизуального прибора Lovis 2000 ME при 25 °С в соответствии со стандартным методом Lovis, основанного на капиллярном методе измерения. Для автоматического расчёта кинематической вязкости определяли плотность растворов при 25 °С DMA 5000 M.

Для оценки прочностных и деформационных свойств картона использовали стандартные методы. Разрушающее напряжение σ , МПа, деформация ε , %; при обработке индикаторных диаграмм нагрузка–удлинение, полученных при испытании на растяжение на разрывной машине «Тестсистема 101»², обработанных по методике Комарова–Казакова [18]. Свойства картона во влажном состоянии при кратковременном смачивании оцени-

вали при испытании образцов по методике³.

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, скорость растяжения – 20 мм/мин.

Пропитка картона осуществлялась биомодифицированным глютеном при расходе ферментного препарата, равного 0,5 % по массе глютена.

Экспериментальная часть. Для проведения экспериментальной части использовались следующие вещества:

Глютен по ГОСТ Р53511 (производитель ООО «Миранда») с массовой долей белка в пересчёте на сухое вещество 70 %. Глютен обрабатывали гидролазами: пентопан 500 БГ, фунгамил супер АХ; липопан 50 БГ трансферазой - транслугтаминаза и аминокислотой L- цистеин.

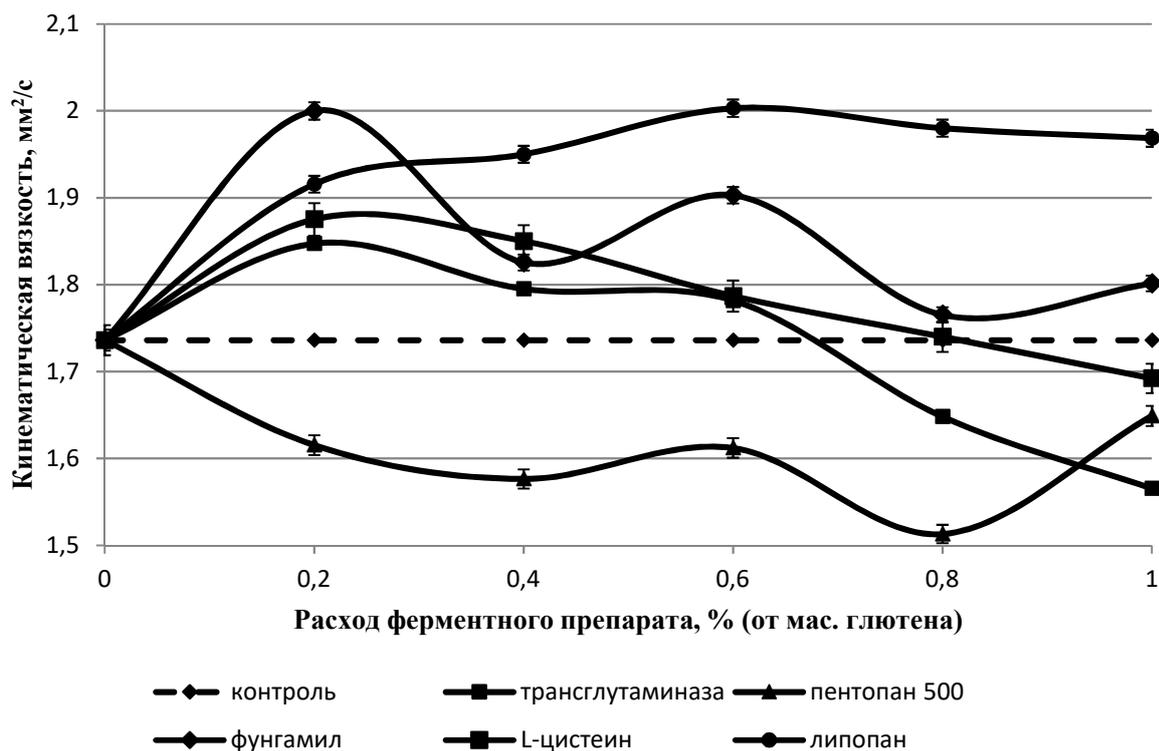
Транслугтаминаза (Wenda) с активностью 1000 ед./г – натуральный ферментный препарат с белками создаёт устойчивую и стабильную белковую решётку в продукте. Способствует образованию ковалентных связей между аминокислотными группами из свободных или боковых цепей лизина одного белка и γ -карбоксамидными группами глутамина другого белка.

Пентопан 500 БГ (Novozymes A/S), активность 2700 FXU /г (FXU = Единицы активности ксиланазы) – это очищенный ферментный препарат, производимый штаммом *Humicola insolens*. Препарат содержит ксиланазу и гемицеллюлазу, обеспечивающие модификацию некрахмальных полисахаридных фракций глютена.

Фунгамил супер АХ (Novozymes A/S), активностью 60 FAU/ч (FAU – единицы активности грибной α -амилазы) – это смесь ферментных препаратов грибной амилазы и пентозаназы. Препарат предназначен для гидролиза крахмала и модификации некрахмальных полисахаридов.

² ГОСТ Р ИСО 1924-2–2012 Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 2. Метод растяжения с постоянной скоростью (20 мм/мин). М.: СтандартИнформ, 2012.

³ ГОСТ 13525.7–68 Бумага и картон. Методы определения влажностойкости (с Изменениями N 1, 2). М.: СтандартИнформ, 1968.



Влияние расхода ферментного препарата на кинематическую вязкость биомодифицированного глютена

Аминокислота *L*-цистеин (*E920*) (Wenda), *L*-изомер α -амино- β -тиопропионовой кислоты/ 2-амино-3-меркаптопропановой кислоты) – алифатическая серосодержащая аминокислота. *L*-цистеин разрушает дисульфидные связи в белке.

Липопан 50 БГ (Novozymes A/S) является очищенной 1,3-специфической липазой, полученной глубинным культивированием очищенного штамма *Aspergillus oryzae*, генетически модифицированного с помощью *Thermomyces lanuginosus*. Липопан гидролизует липиды в белке.

Результаты исследования. Результаты определения кинематической вязкости образцов биомодифицированного глютена в зависимости от концентрации введённого ферментного препарата представлены на рисунке. На этом же рисунке штрихпунктирной линией представлено значение кинематической вязкости для контрольного образца, равное 1,736 мм²/с.

Образец, обработанный липопаном при концентрации от 0,2 до 0,6 %, показывает линейный график увеличения вязкости. Максимум кинематической вязкости составляет 2,003 мм²/с при концентрации фермента 0,6 %. Увеличение вязкости по сравнению с контрольным образцом связано с гидролизом липидов, которые препятствуют образованию связей. При увеличении концентрации от 0,6 % наблюдается снижение вязкости, что, вероятно, связано с гидролизом крахмальных полисахаридов.

Образец, обработанный фунгамиллом, показывает хаотическое снижение вязкости в концентрациях от 0,2 до 1,0 %. Максимум кинематической вязкости составляет 1,999 мм²/с при концентрации 0,2 %. Хаотическое поведение связано с влиянием α -амилазы, которая гидролизует крахмал (что приводит к снижению вязкости) и пентозаназы, которая модифицирует некрахмальные полисахариды (что приводит к увеличению вязкости).

Прочностные и деформационные характеристики картона, пропитанного биомодифицированным глютенном

Образец	Привес, %	σ, МПа		ε, %	
		сухие	влажные	сухие	влажные
		MD/CD	MD/CD	MD/CD	MD/CD
Крафтлайнер 125 г/м ²	–	61 / 30	12 / 7,6	2,4 / 6,7	1,1 / 4,7
Пентопан 500	3,0	87 / 25	19 / 5,3	4,0 / 6,5	1,7 / 3,7
Фунгамил	3,5	83 / 23	21 / 6,0	3,4 / 6,6	2,4 / 5,4
Трансглутаминаза	4,0	86 / 25	17 / 6,8	4,0 / 6,3	1,8 / 5,3
Липопан	3,5	78 / 23	25 / 7,2	3,0 / 4,7	2,6 / 5,7
L-цистеин	4,0	75 / 23	20 / 6,5	3,0 / 5,9	2,2 / 4,1

Образец, обработанный L-цистеином, показывает линейное снижение вязкости при концентрациях от 0,2 до 1,0 %. Максимум кинематической вязкости составляет 1,875 мм²/с при концентрации 0,2 %. При увеличении концентрации от 0,8 % вязкость становится ниже контрольной пробы. L-цистеин является восстановителем, способным разрушать бесчисленные дисульфидные связи, в результате чего клейковина становится более гибкой.

Трансглутаминаза представляет собой сшивающий агент, который образует ковалентные связи в белке. Однако образец, обработанный трансглутаминазой, показывает снижение вязкости в концентрациях от 0,2 до 1,0 %. Это связано с чрезмерной сшивкой структуры клейковины, поэтому при использовании сшивающих агентов рекомендуется использовать антиоксиданты. Максимум кинематической вязкости составляет 1,847 мм²/с при концентрации 0,2 %. С увеличением концентрации 0,65 % вязкость раствора становится меньше контрольного образца, что указывает на необратимые реакции разрушения третичной структуры белка.

Образец, обработанный пентопаном 500, показывает вязкость в концентрациях от 0,2 до 1,0 %, ниже по сравнению с контрольным образцом. Максимум кинематической вязкости составляет 1,649 мм²/с

при концентрации 1,0 %. Вероятно, это связано с увеличением доли низкомолекулярных пентозанов в процессе гидролиза белка.

Изменение вязкости раствора биомодифицированного глютена влияет на прочностные и деформационные характеристики картона (см. табл.).

В частности, с увеличением вязкости раствора биомодифицированного глютена увеличиваются прочностные и деформационные характеристики картона во влажном состоянии в машинном направлении (MD). Наилучшими прочностными и деформационными характеристиками обладают варианты картона, пропитанного растворами наибольшей вязкости, – глютен, биомодифицированный липопаном и фунгамилем (см. рис., с. 63).

Выводы

1. Увеличение кинематической вязкости (на 15 %) наблюдается при расходе ферментных препаратов 0,2 % – для фунгамила, 0,6 % – для липопана (по массе а.с.в. глютена).

2. Оптимальной концентрацией ферментного препарата для биомодификации глютена является 0,2–0,6 % по массе глютена.

3. С увеличением вязкости глютена повышаются прочностные и деформационные характеристики картона.

Список литературы

1. Molecular basis of processing wheat gluten toward biobased materials / B. Lagrain, B. Goderis, K. Brijs et al. // *Biomacromolecules*. 2010. Vol. 11. No. 3. Pp. 533–541.
2. Effect of Glutaraldehyde Crosslinking Conditions on the Strength and Water Stability of Wheat Gluten Fibers / Narendra Reddy, Yeanching Tan, Ying Li et al. // *Macromolecular materials and engineering*. 2008. Vol. 293, No. 7. Pp. 614-620.
3. Wheat Gluten Based Adhesives for Particle Boards: Effect of Crosslinking Agents / Sara Khosravi, Farideh Khabbaz, Petra Nordqvist et al. // *Macromolecular Materials and engineering* 2014. Vol. 299, No. 1. Pp. 116-124.
4. *Stephane Guilbert and Bernard Cuq*, chapter 11 Material Formed from Proteins of Handbook of biodegradable polymers (editor: Bastioli Catia). Rapra Technology Limited, 2005. 566 p.
5. Spontaneous gelation of wheat gluten proteins in a food grade solvent / Mohsen Daesh, Amelie Banc, Agnes Duri et al. // *Food Hydrocolloids*. 2016. Vol. 52. Pp.1-10.
6. *Yuval Shimoni, Gad Galili*. Intramolecular Disulfide Bonds between Conserved Cysteines in Wheat Gliadins Control Their Deposition into Protein Bodies // *Journal of Biological Chemistry*. 1996. Vol. 271. No. 31. Pp.18869-18874.
7. Wheat gluten-laminated paperboard with improved moisture barrier properties: a new concept using a plasticizer (glycerol) containing a hydrophobic component (oleic acid) / Sung-Woo Cho, Thomas O. J. Blomfeldt, Helena Halonen et al. // *International Journal of Polymer Science*. 2012. Vol. 2012. P. 9.
8. *Mikael Gällstedt, Angela Brottman, Mikael S.Hedenqvist*. Packaging-related Properties of Protein- and Chitosan-coated Paper // *Packaging Technology and Science*. 2005. Vol. 18. Pp. 161-170.
9. *X.Z. Tang, P. Kumar, S. Alavi, K.P. Sandeep* Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012. Vol. 52. Pp. 426–442.
10. State of the Art in the Development and Properties of Protein-Based Films and Coatings and Their Applicability to Cellulose Based Products / Maria-Beatrice Coltelli, Florian Wild, Elodie Bugnicourt et al. // *An Extensive Review. Coatings* 2016. Vol. 6. Pp. 1-59.
11. *K. Khwaldia, E. Arab-Tehrany, S. Desobry*. Biopolymer coatings on paper packaging materials // *Compr. Rev. Food Sci. F* 2010. Vol. 9. Pp. 82–91.
12. *C. Andersson*. New ways to enhance the functionality of paperboard by surface treatment—A review // *Packag. Technol. Sci.* 2008. Vol. 21. Pp. 339–373.
13. Физико-механические свойства картона, обработанного биомодифицированным глютенном / И.В. Захаров, Н.Л. Захарова, А.В. Канарский и др. // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2017. № 6. С. 135-144.
14. Повышение устойчивости картона к старению пропиткой биомодифицированным глютенном / И.В. Захаров, Н.Л. Захарова, А.В. Канарский и др. // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2018. Вып. 222. С. 216–227.
15. Intrinsic influence of various plasticizers on functional properties and reactivity of wheat gluten thermoplastic materials / M. Pommet, A. Redl, S. Guilbrt et al. // *Journal of Cereal Science*. 2005. Vol. 42. Pp. 81-91.
16. *Belton P.S.* On the elasticity of wheat gluten // *Journal of Cereal Science*. 1999. Vol. 29. Pp. 103-107.
17. Mechanical, and barrier properties of albedo-based films prepared in the presence of phaseolin cross-linked or not by transglutaminase / L. Mariniello, C. V. L. Giosafatto, P. Di Pierro et al. // *Biomacromolecules*. 2010. Vol. 11, No 9. Pp. 2394-2398.
18. *Комаров В.И., Казаков Я.В.* Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // *Лесной вестник МГУЛ*. 2000. № 3 (12). С.52–62.

Статья поступила в редакцию 28.06.18.

Принята к публикации 29.08.18.

Информация об авторах

ЗАХАРОВ Иван Васильевич – аспирант, Казанский национальный исследовательский технологический университет. Область научных интересов – биodeградируемые материалы. Автор девяти публикаций.

ЗАХАРОВА Наталья Леонидовна – аспирант, Казанский национальный исследовательский технологический университет. Область научных интересов – ресурсосберегающие технологии. Автор четырёх публикаций.

КАНАРСКИЙ Альберт Владимирович – доктор технических наук, профессор, Казанский национальный исследовательский технологический университет. Область научных интересов – химическая технология и биотехнология, переработка сырья растительного, животного и микробиологического происхождения. Автор 350 публикаций, 35 патентов и авторских свидетельств.

UDC 532.133, 676.022.04
DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.60

THE EFFECT OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BIOMODIFICATION OF GLUTEN ON STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF PAPERBOARD

I. V. Zakharov, N. L. Zakharova, A. V. Kanarskiy
Kazan National Research Technological University,
68, K. Marks St., Kazan, 420015, Russian Federation
E-mail: alb46@mail.ru

Keywords: gluten; enzymatic treatment; rheology; strength and deformation characteristics of paperboard.

ABSTRACT

Introduction. Paperboard is imbued with various substances to ensure moisture resistance. Therefore, it is economically expedient for the gluten solution to concentrate on the surface of paperboard. For this, it is important to increase the viscosity of the solution so that it does not penetrate into the depths of the paperboard. **The goal of the research** is to study the effect of kinematic viscosity of biomodified gluten solution on the strength and deformation characteristics of paperboard. **Methods.** To estimate the kinematic viscosity of the properties of fibrous materials, the standard Lovis method was used. Wheat gluten was treated with enzyme preparations and L-cysteine to produce a biopolymer, suitable for application to paperboard. The possibility to use protein substances as secondary resources in processing wheat and enzymatic processing of proteins with further application to paperboard is given. **Results.** An increase in the kinematic viscosity (by 15%) was found at the consumption of enzyme preparations : 0.2 % -for fungamyl, 0.6 % - for lipopan (by mass of gluten as in gluten). It was established that the optimal concentration of the enzyme preparation for gluten biomodification was 0.2-0.6 % by weight of gluten. It was determined that the strength and deformation characteristics of paperboard grew with the increase of gluten viscosity. **Conclusion.** Enzyme preparations and amino acids have a specific effect on the rheological properties of paperboard. The kinematic viscosity of gluten is increased when treating with fungamyl and lipopan by 15%. Optimal concentrations of the enzyme preparation for biomodification of gluten are offered. Increase of viscosity of the solution by enzymatic treatment leads to growth in strength and deformation characteristics of cardboard in wet state. The direction for further research is related to the study of barrier properties of paperboard during surface treatment with biomodified plant polymers.

REFERENCES

1. B. Lagrain, B. Goderis, K. Brijs, and J. A. Delcour. Molecular basis of processing wheat gluten toward biobased materials. *Biomacromolecules*. 2010. Vol. 11. No. 3. Pp. 533–541.
2. Narendra Reddy, Yeanching Tan, Ying Li, Yiqi Yang. Effect of Glutaraldehyde Crosslinking Conditions on the Strength and Water Stability of Wheat Gluten Fibers. *Macromolecular materials and engineering*. 2008. Vol. 293, No. 7. Pp. 614-620.
3. Sara Khosravi, Farideh Khabbaz, Petra Nordqvist, Mats Johansson. Wheat Gluten Based Adhesives for Particle Boards: Effect of Crosslinking Agents. *Macromolecular Materials and engineering*. 2014. Vol. 299, No. 1. Pp. 116-124.
4. Stephane Guilbert and Bernard Cuq, chapter 11 Material Formed from Proteins of Handbook of biodegradable polymers (editor: Bastioli Catia) Rapra Technology Limited, 2005. 566 p.
5. Mohsen Dahesh, Amelie Banc, Agnes Duri, Marie-Helene Morel, Laurence Ramos. Spontaneous gelation of wheat gluten proteins in a food grade solvent. *Food Hydrocolloids*. 2016. Vol. 52. Pp.1-10.
6. Yuval Shimoni, Gad Galili. Intramolecular Disulfide Bonds between Conserved Cysteines in Wheat Gliadins Control Their Deposition into Protein Bodies. *Journal of Biological Chemistry*. 1996. Vol. 271, No. 31. Pp.18869-18874.
7. Sung-Woo Cho, Thomas O. J. Blomfeldt, Helena Halonen, Mikael Gallstedt, Mikael S. Hedenqvist. Wheat gluten-laminated paperboard with improved moisture barrier properties: a new concept using a plasticizer (glycerol) containing a hydrophobic component (oleic acid). *International Journal of Polymer Science*. 2012. Vol. 2012. p. 9.
8. Mikael Gällstedt, Angela Brottman, Mikael S.Hedenqvist. Packaging-related Properties of Protein-

and Chitosan-coated Paper. *Packaging technology and science*. 2005. Vol. 18. Pp. 161-170.

9. X.Z. Tang, P. Kumar, S. Alavi, K.P. Sandeep. Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012. Vol. 52. Pp. 426–442.

10. Maria-Beatrice Coltelli, Florian Wild, Elodie Bugnicourt et al. State of the Art in the Development and Properties of Protein-Based Films and Coatings and Their Applicability to Cellulose Based Products. *An Extensive Review. Coatings*. 2016. Vol. 6. Pp. 1-59.

11. K. Khwaldia, E. Arab-Tehrany, S. Desobry. Biopolymer coatings on paper packaging materials. *Compr. Rev. Food Sci. F.* 2010. Vol. 9. Pp. 82–91.

12. C. Andersson. New ways to enhance the functionality of paperboard by surface treatment—A review. *Packag. Technol. Sci.* 2008. Vol. 21. Pp. 339–373.

13. Zakharov I.V., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V. et al. Fiziko-mekhanicheskie svoystva kartona, obrabotannogo biomodifitsirovannym glutenom [Physical and Mechanical Properties of Paperboard, Processed with Biomodified Gluten]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [University News. Forest Magazine]. 2017. No 6. Pp. 135-144. (In Russ.).

14. Zakharov I.V., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V. et al. Povyshenie ustoychivosti kartona k

stareniu propitkoy biomodifitsirovannym glutenom [Improvement of Ageing Resistance of Paperboard with a Biomodified Gluten Treatment]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of Saint-Petersburg Forest Engineering Academy]. 2018. Iss. 222. P. 216–227. (In Russ.).

15. M. Pommet, A. Redl, S. Guilbrt, M.-H. Morel. Intrinsic influence of various plasticizers on functional properties and reactivity of wheat gluten thermoplastic materials. *Journal of Cereal Science*. 2005. Vol. 42. Pp. 81-91.

16. P.S. Belton. On the elasticity of wheat gluten // *Journal of Cereal Science*. 1999. Vol. 29. Pp. 103-107.

17. L. Mariniello, C. V. L. Giosafatto, P. Di Piero, A. Sorrentino, and R. Porta Swelling. Mechanical, and barrier properties of albedo-based films prepared in the presence of phaseolin cross-linked or not by transglutaminase. *Biomacromolecules*. 2010. Vol. 11, No 9. Pp. 2394-2398.

18. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. Analiz mekhanicheskogo povedeniya tsellulozno-bumazhnykh materialov pri prilozhenii rastyagivaushchey nagruzki [Analysis of Mechanical Behavior of Pulp-and-Paper Matters When Applying the Tension Load]. *Lesnoy vestnik MGUL* [Forest Vestnik of Moscow State Forest University]. 2000. No 3 (12). P. 52–62. (In Russ.).

The article was received 28.06.18.

Accepted for publication 29.08.18.

For citation: Zakharov I. V., Zakharova N. L., Kanarskiy A. V. The Effect of Rheological Properties of Biomodification of Gluten on Strength and Deformation Properties of Paperboard. *Vestnik of Volga State University of Technology*. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2018. No 3(39). Pp. 60–67. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.60

Information about the authors

ZAKHAROV Ivan Vasilyevich – Postgraduate student, Kazan National Research Technological University. Research interests – biodegradable materials. The author of nine publications.

ZAKHAROVA Natalia Leonidovna – Postgraduate student, Kazan National Research Technological University. Research interests – resource-saving technologies. The author of four publications.

KANARSKIY Albert Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan National Research Technological University. Research interests – chemical technology and biotechnology, processing of raw materials of plant, animal and microbiological origin. The author of 350 publications, 35 patents and inventor's certificates.