

Как видно в табл.1, добавление катионного химиката к фильтрату массы и последующего разбавления этим фильтратом массы, позволяет уменьшить КП с 1,300 мг-экв./л до 0,313 мг-экв./л. Примерно по той же закономерности влияет катионный фиксатор «Ультрафикс». Физико-механические характеристики отливки бумаги остаются удовлетворительными.

Список литературы

1. Дулькин, Д.А. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги / Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов, В.И. Комаров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 1118 с.
2. ГОСТ 10700–97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия/ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.– Минск, 1997.-12 с.

УДК 539.233

ВЛИЯНИЕ АМИЛОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ И СПОСОБА ПРОПИТКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРТОНА

Михайлова Ольга Сергеевна,
аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет, г. Казань, E-mail: olga1.83@mail.ru

Крякунова Елена Вячеславовна,
канд. биол. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет, г. Казань, E-mail: Oscillatoria@rambler.ru;

Канарский Альберт Владимирович,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет, г. Казань, E-mail: alb46@mail.ru

Казakov Яков Владимирович,
д-р техн. наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: j.kazakov@narfu.ru

Дулькин Дмитрий Александрович,
д-р техн. наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: dmdulkin@yandex.ru

Романова Анастасия Николаевна,
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: anastasiaromanov@gmail.com

Ключевые слова: картон, крахмал картофельный модифицированный, амилолитические ферменты, поверхностная пропитка, проклейка в массе.

Аннотация. Показано, что поверхностная пропитка картона крахмалом, модифицированным ферментом изоамилазой, приводит к значимому увеличению основных физико-механических показателей картона. Однако при пропитке в массе значимые улучшения прочностных характеристик наблюдаются для образцов картона, пропитанных крахмалом после обработки ферментом амилазой.

THE INFLUENCE OF AMYLOLITHIC ENZYMES AND IMPREGNATION METHOD
ON CARDBOARD STRENGTH CHARACTERISTICS

Mihailova Olga Sergeevna,
post-graduate student, Kazan National Research Technological University,
Kazan, E-mail: olga1.83@mail.ru

Kryakunova Elena Vyacheslavovna,
Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor, Kazan National Research
Technological University, Kazan, E-mail: Oscillatoria@rambler.ru

Kanarskii Albert Vladimirovich,
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,
Kazan National Research Technological University, Kazan, E-mail: alb46@mail.ru

Kazakov Yakov Vladimirovich,
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, E-mail: j.kazakov@narfu.ru

Dulkin Dmitrii Aleksandrovich,
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, E-mail: dmdulkin@yandex.ru

Romanova Anastasiia Nikolaevna,
post-graduate student,, Northern (Arctic) Federal University,
Arkhangelsk, E-mail: anastasiaromanov@gmail.com

Key words: *cardboard, potato modified starch, amylolytic enzymes, surface impregnation, stuff sizing.*

Abstract. *It was shown that surface impregnation of cardboard with starch, modified with an isoamylase enzyme, leads to a significant increase in the basic physical and mechanical properties of cardboard. However, when there is stuff sizing, significant improvements in strength characteristics are observed for cardboard samples impregnated with starch after enzyme treatment with amylase.*

Для придания дополнительной физико-механической прочности бумагу и картон пропитывают специальными веществами или наносят дополнительные слои из натуральных или синтетических материалов. Применяют два способа обработки бумаги и картона: проклейку в массе и поверхностную проклейку. Крахмал является одним из наиболее распространенных связующих веществ, используемых в производстве бумаги и картона. Однако крахмал легко подвергается модификации с получением продуктов, обладающими новыми полезными свойствами для применения в производстве бумаги и картона [1]. Фермент α -амилаза гидролизует α -1,4-гликозидные связи в крахмале и имеет выраженное сродство к гликозидным связям, удаленным от конца молекулы. Ферменты изоамилаза и пуллулаза катализируют гидролиз в разветвленных α -1,6-гликозидных связях амилопектина, что ведет к появлению линейных олигосахаридов, содержащих α -1,4-гликозидные связи [2].

Для изготовления отливок образцов картона массой 140 г/м^2 использовалась сульфатная небеленая целлюлоза ОАО «МЦБК».

Подготовка образцов для поверхностной пропитки. Волокнистая масса (длина волокна 95 дцг) размалывалась в лабораторном ролле до степени помола $32 \text{ }^\circ\text{ШР}$. Отливки картона изготавливались на листоотливном аппарате. После отлива образцы прессовались при давлении $1,5 \text{ кгс/см}^2$ и затем высушивались при температуре $105\text{-}115^\circ\text{C}$.

Полученные образцы размером $20 \times 20 \text{ см}$ пропитывались крахмалом картофельным, предварительно обработанным одним из амилолитических ферментов: амилазой, изоамилазой *Pseudomonas amyloclavata* и пуллулазой *Bacillus licheniformis* (*Optimax L-1000*). По-

сле поверхностной пропитки образцы картона высушивались контактным способом до конечной влажности.

Подготовка образцов для проклейки в массе. Волокнистая масса (длина волокна 95 дцг) размалывалась в лабораторном ролле до степени помола 32 °ШР. К ней добавлялся крахмальный клейстер, предварительно обработанный одним из амилолитических ферментов. Отливки картона изготавливались на листоотливном аппарате. После отлива образцы прессовались при давлении 1,5 кгс/см² и затем высушивались при температуре 105-115 °С. Полученные образцы размером 20×20 см высушивались контактным способом до конечной влажности.

Ферментативная обработка крахмала. Суспензию крахмала с концентрацией сухих веществ (СВ) 2 % клейстеризовали, остужали и вносили один из ферментов в расчете 200 единиц активности на 1 г СВ. Затем крахмальный клейстер с внесенными ферментами выдерживали в течение 3 часов при температуре 50 °С и постоянном перемешивании.

Физико-механические испытания материалов. Испытание материалов на растяжение проводили согласно ИСО 1924–2–85 [3] на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину ТС 101–0,56 (г. Иваново) и компьютер [4, 5]. Испытывались образцы шириной 15 мм при расстоянии между зажимами 50 мм со скоростью (20±1) мм/мин. Определение деформационных свойств материалов проводили по методикам, разработанным на кафедре Технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета, с получением графика зависимости «напряжение–деформация». Математическую обработку результатов проводили по методике Комарова-Казакова.

Влияние поверхностной пропитки биомодифицированным крахмалом на физико-механические свойства картона. Деформационные свойства картона при поверхностной пропитке характеризуют кривые «нагрузка–удлинение», получаемые при испытании образцов материала при растяжении (рис. 1). Как видно из данных, представленных на рис. 1, поверхностная пропитка картона как нативным крахмалом, так и крахмалами, обработанными амилолитическими ферментами, приводит к увеличению, как начальной жесткости структуры, так и к увеличению жесткости в области замедленно-упругих деформаций и в зоне предразрушения.

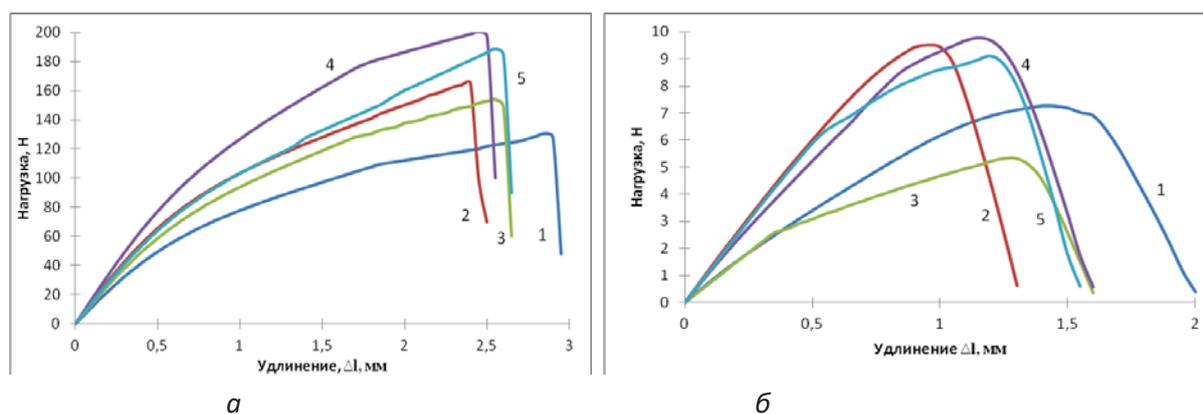


Рис. 1. Кривые зависимости «Нагрузка-удлинение» для картона после поверхностной пропитки: а – в сухом состоянии; б – во влажном состоянии; 1 – непропитанный картон; 2 – картон, пропитанный нативным крахмалом; 3 – картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом амилазой; 4 – картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом изоамилазой; 5 – картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом пуллуланазой

Хотя поверхностная пропитка картона крахмалом после обработки ферментом изоамилазой приводит к наибольшему увеличению жесткости структуры, но сопровождается снижением растяжимости, а, следовательно, и динамической прочности. Более того, снижение

растяжимости картона после поверхностной пропитки наблюдается для всех образцов как в сухом, так и в увлажненном состоянии независимо от наличия или природы амилолитического фермента. Для образцов картона, пропитанных крахмалом после обработки ферментом амилазой, наблюдается наименьшее увеличение жесткости структуры сопровождаемое общим снижением растяжимости как в сухом, так и в увлажненном состоянии.

Основные физико-механические параметры картона после поверхностной пропитки энзиматически модифицированным крахмалом представлены в табл. 1. Как видно из данных, представленных в таблице 1, наибольшее увеличение основных прочностных характеристик картона наблюдается после поверхностной пропитки крахмалом, обработанным ферментом изоамилазой, а именно: увеличение максимальной нагрузки в сухом состоянии на 50 %, в увлажненном – на 35 %; увеличение жесткости при растяжении для сухих и увлажненных образцов в среднем на 60 %; модуля упругости – в 2,25 ...2,5 раза; работы разрушения – на 30 % для сухих образцов и 5 % – для увлажненных. Единственное, для данных образцов наблюдается уменьшение разрушающего удлинения в среднем на четверть.

Несколько менее выраженное улучшение прочностных характеристик наблюдается для картона после пропитки крахмалом, обработанным ферментом пуллуланазой, а именно: увеличением максимальной нагрузки на 45 % и 25 % соответственно для сухих и увлажненных образцов; жесткости при растяжении – в среднем на 40 %; модуля упругости – в 2 раза для сухих образцов и на 80 % для увлажненных; работы разрушения – на 30 % для сухих образцов и 5 % – для увлажненных. Для данных образцов также характерно уменьшение разрушающего удлинения на 10-15 %.

Таблица 1

Влияние поверхностной пропитки ферментированным крахмалом картофельным на прочностные характеристики картона (сухой/влажный)

Наименование показателя	Исходный картон	Картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом			
		без обработки	амилазой	изоамилазой	пуллуланазой
Толщина, мкм	312,4	251,9	263,7	239,4	253,0
Масса, г/м ²	143,7	172,1	149,6	172,9	168,0
Максимальная нагрузка, Н	130,9 / 7,25	167,2 / 9,50	153,4 / 5,55	200,7 / 9,73	189,9 / 9,06
Деформация при макс. нагрузке, %	5,70 / 2,83	4,61 / 2,30	4,57 / 2,56	4,94 / 2,19	5,13 / 2,39
Максимальное напряжение, МПа	27,9 / 1,54	44,3 / 4,76	38,7 / 1,41	55,8 / 2,71	50,0 / 2,38
Модуль упругости, МПа	3200 / 14	570 / 24	550 / 9	730 / 32	660 / 25
Работа разрушения, МДж	225,2 / 6,03	235,9 / 6,53	214,6 / 4,36	298,4 / 6,30	295,1 / 6,36
Разрушающее удлинение, мм	2,85 / 1,42	2,31 / 1,15	2,54 / 1,28	2,47 / 1,10	2,57 / 1,21
Жесткость при растяжении кН/м	362 / 26	522 / 41	480 / 22	560 / 42	537 / 37

В свою очередь, поверхностная пропитка картона крахмалом после обработки ферментом амилазой не привела к каким-либо существенным увеличениям основных физико-механических показателей картона в сухом состоянии и к снижению большинства параметров в увлажненном состоянии. Для сухих образцов картона, пропитанных крахмалом после обработки амилазой, наблюдается увеличение максимальной нагрузки на 20 % (после про-

питки нативным крахмалом увеличение данного параметра составило 25 %); жесткости при растяжении – на 30 % (для нативного крахмала – 45 %); модуля упругости – на 70 % (для нативного крахмала – 75 %); снижение разрушающего удлинения на 10 % (для нативного крахмала снижение данного показателя составило 20 %). В увлажненном состоянии данные образцы демонстрировали снижение всех показателей от 10 % для разрушающего удлинения и до 25 % для максимальной нагрузки и работы разрушения. Как очевидно, по прочностным характеристикам данные образцы уступают образцам картона после пропитки нативным крахмалом, а в увлажненном состоянии – даже контрольным образцам (без пропитки).

Влияние пропитки в массе биомодифицированным крахмалом на физико-механические свойства картона. Деформационные свойства картона после пропитки в массе характеризуют кривые «нагрузка–удлинение» (рис. 2).

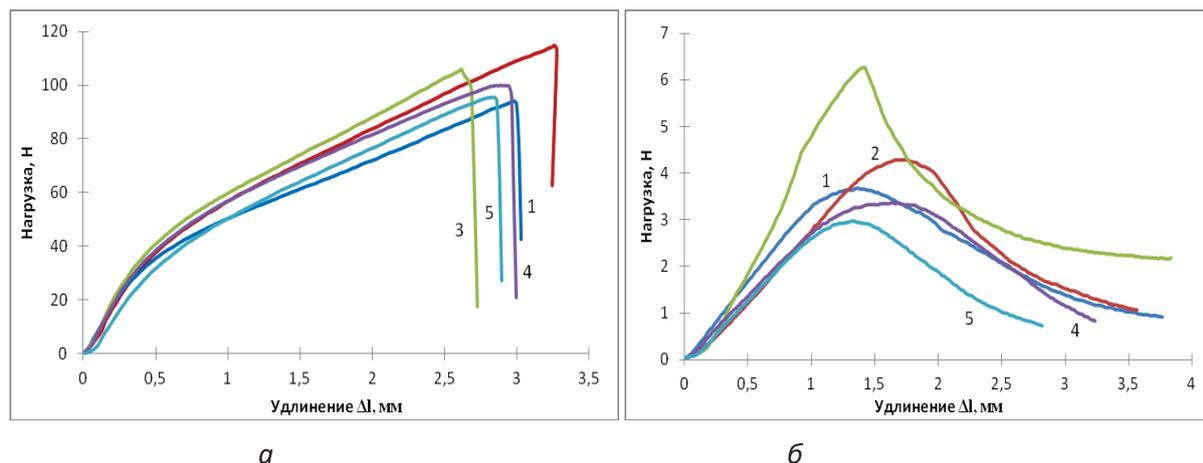


Рис. 2. Кривые зависимости «Нагрузка-удлинение» для картона после проклейки в массе: *а* – в сухом состоянии; *б* – во влажном состоянии; 1 – без проклейки; 2 – проклеенный нативным крахмалом; 3 – проклеенный крахмалом после обработки амилазой; 4 – проклеенный крахмалом после обработки изоамилазой; 5 – проклеенный крахмалом после обработки пуллулазазой

Как видно из данных, представленных на рис. 2*а*, пропитка картона в массе крахмалами, обработанными амилолитическими ферментами, в сухом состоянии не приводит к значимым увеличениям как начальной жесткости структуры, так жесткости в области замедленно-упругих деформаций и в зоне предразрушения. Наибольший укрепляющий эффект на общую жесткость структуры сухого картона при пропитке в массе оказал нативный крахмал. Более того, пропитка в массе нативным крахмалом сопровождается увеличением растяжимости и динамической прочности структуры. Из модифицированных амилолитическими ферментами крахмалов наилучший укрепляющий эффект на жесткость сухого картона оказала амилаза, но данные образцы демонстрируют и наибольшее снижение растяжимости. Однако после увлажнения образцов наблюдается иная картина (рис 2*б*). В данном случае пропитка в массе крахмалом, обработанным ферментом амилазой, приводит к увеличению как начальной жесткости структуры, так и к увеличению жесткости в области замедленно-упругих деформаций и в зоне предразрушения. Более того, для данных образцов не наблюдается снижение растяжимости, а, следовательно, и динамической прочности. Несколько менее выраженный эффект укрепления жесткости структуры увлажненного картона наблюдается при пропитке в массе нативным крахмалом, что также сопровождается сохранением динамической прочности. В свою очередь, модификация крахмала ферментом изоамилазой при пропитке в массе не оказала заметного влияния на изменение общей жесткости увлажненного картона, тогда как модификация крахмала ферментом пуллулазазой оказала негативный эф-

фект на жесткость структуры увлажненного картона, что сопровождалось также снижением динамической прочности образцов.

Основные физико-механические параметры картона после пропитки в массе энзиматически модифицированным крахмалом представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние проклейки в массе ферментированным крахмалом картофельным на прочностные характеристики картона (сухой/влажный)

Наименование показателя	Исходный картон	Картон, проклеенный крахмалом после обработки ферментом			
		без обработки	амилазой	изоамилазой	пуллуланазой
Толщина, мкм	277,3	319,4	300,8	303,5	278,8
Масса, г/м ²	141,7	141,7	140,9	139,7	134,9
Максимальная нагрузка, Н	93,6 / 3,57	114,5 / 4,32	105,1 / 6,25	99,4 / 3,24	95,7 / 3,00
Деформация при макс. нагрузке, %	6,00 / 3,00	6,66 / 3,12	5,49 / 2,90	5,71 / 3,21	5,60 / 2,62
Максимальное напряжение, МПа	22,52 / 0,85	23,94 / 0,90	23,3 / 1,38	21,80 / 0,71	22,86 / 0,71
Модуль упругости, МПа	1180 / 50	1060 / 42	1300 / 70	1150 / 40	1220 / 45
Работа разрушения, МДж	178,2 / 3,35	234,4 / 3,58	183,3 / 4,62	179,1 / 3,17	166,6 / 2,44
Разрушающее удлинение, мм	3,00 / 1,39	3,33 / 1,52	2,74 / 1,42	2,86 / 1,55	2,80 / 1,28
Жесткость при изгибе, мН·см	204	262	229	185	209

Как видно из данных, представленных в табл. 2, наибольшее улучшение прочностных характеристик картона после проклейки в массе наблюдается для образцов, пропитанных крахмалом, модифицированным ферментом амилазой, а именно: увеличение максимальной нагрузки для сухих образцов – на 10 %, для увлажненных – на 75 %; модуля упругости – на 10 % и 40 % соответственно; работы разрушения – на 5 % для сухих и 40 % для увлажненных образцов. Модификация крахмала ферментами изоамилазой и пуллуланазой не оказала заметного влияния на изменение физико-механических свойств сухого картона при пропитке в массе: показатели данных образцов не отличаются от показателей непропитанного картона. Более того, после увлажнения значения большинства показателей у данных образцов снижаются на 10...25 % относительно непропитанного картона. Наибольшее улучшение прочностных характеристик для сухого картона наблюдается при пропитке в массе нативным крахмалом: значения максимальной нагрузки возросло на 20 %, работы разрушения – на 30 %, разрушающего удлинения – на 10 % относительного исходного картона. Однако данные образцы демонстрируют снижение модуля упругости на 10 %. В увлажненном состоянии образцы картона после пропитке в массе нативным крахмалом уступают по ряду показателей образцам картона, пропитанным в массе крахмалом после обработки ферментом амилазой.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наилучшее повышение основных физико-механических показателей картона при поверхностной пропитке наблюдается после модификации крахмала ферментом изоамилазой, а при пропитке в массе – ферментом амилазой, что особенно становится заметно при увлажнении образцов.

Список литературы

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006.- 696 с.
2. Benavent-Gil Y., Rosell C.M. Morphological and physicochemical characterization of porous starches obtained from different botanical sources and amylolytic enzymes // Int. J. Biol. Macromol. 2017, Vol. 10, pp. 587-595.
3. ИСО 1924-2-85 Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 2. Метод растяжения с постоянной скоростью. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 12 с.
4. Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск, изд-во АГТУ, 2002.- 440 с.
5. 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.

УДК 676.166

**РАФИНЕРНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ МАССА ИЗ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ:
СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

Алашкевич Юрий Давыдович,
д-р техн. наук, заведующий кафедрой,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: mapt@sibgtu.ru

Пен Роберт Зусьевич,
д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: mapt@sibgtu.ru

Марченко Роман Александрович,
канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: mapt@sibgtu.ru

Каретникова Наталья Викторовна,
канд. хим. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: mapt@sibgtu.ru

Чендылова Лариса Валерьевна,
канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: mapt@sibgtu.ru

Ключевые слова: лён, льняная костра, солома, макулатура, рафинерная механическая масса, соломенная рафинерная масса, льняная рафинерная масса, макулатурная волокнистая масса, туалетная бумага.

Аннотация. Рафинерная механическая масса (РММ) из льняной костры обладает низкими прочностными свойствами и высокой капиллярной впитываемостью. Установлена возможность замены части макулатурной массы на РММ из льняной костры при производстве туалетной бумаги.