

### **Выводы:**

В результате исследовательской работы разработаны режимы варки осиновой древесины, которые позволяют получить целлюлозу с числом каппа в интервале 19...21 и 24...26 ед. Высокие значения вязкости целлюлозы гарантируют удовлетворительный уровень показателей механической прочности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Karlsson H. Fiber Guide – Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry. 2006 120 p.

УДК 539.233

М.А. Холмова<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук

Я.В. Казаков<sup>1</sup>, доц., д-р техн. наук

Т.А. Тихановская<sup>1</sup>, магистр, О.С. Михайлова<sup>2</sup>, аспирант

А.В. Канарский<sup>2</sup>, профессор, д-р техн. наук

<sup>1</sup>[m.holmova@narfu.ru](mailto:m.holmova@narfu.ru), <sup>1</sup>[j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru), <sup>2</sup>[alb46@mail.ru](mailto:alb46@mail.ru)

(<sup>1</sup>САФУ, г. Архангельск, <sup>2</sup>КНИТУ, г. Казань, Россия)

### **МОДИФИКАЦИЯ РЕЖИМА ПОДГОТОВКИ СОСТАВА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ КРАХМАЛЬНОЙ ПРОКЛЕЙКИ КАРТОНА**

Крахмал является одним из основных связующих веществ, используемых в производстве бумаги и картона. Это связано как с его уникальными функциональными свойствами, так и с низкой ценой, возобновляемостью сырьевых ресурсов и экологической чистотой. Крахмал, как и все связующие вещества, используемые при производстве бумаги, связывает между собой волокна в бумажном листе и тем самым способствует повышению сомкнутости и механической прочности бумаги.

Природный или нативный крахмал представляет собой смесь двух полисахаридов: линейного – амилозы и разветвленного – амилопектина, общая эмпирическая формула которых –  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Амилоза построена главным образом из остатков  $\alpha$ -D-глюкопиранозы с  $\alpha$ -1–4-связями. Молекулы амилопектина сильно разветвлены и состоят из фрагментов амилозы (около 20 моносахаридных остатков), связанных между собой  $\alpha$ -1,6-гликозидными связями. В зависимости от исходного сырья содержание амилозы в крахмале составляет от 10 до 30 % [1].

При введении в бумажную массу в качестве связующего предпочтение отдается крахмалу из картофеля и других клубневых культур по следующим причинам: меньшая температура клейстеризации, более высокая степень полимеризации амилозы до 3000, при 800 у

зерновых, более высокая растворимость с образованием прозрачных растворов, лучшая удерживаемость на волокнах [2].

Поэтому для проведения исследования был выбран именно картофельный крахмал. Поверхностной крахмальной проклейке подвергался картон лабораторного изготовления из сульфатной небеленой целлюлозы Российского производства.

В настоящее время нативный крахмал в качестве связующего применяется крайне редко, его повсеместно заменяют модифицированными крахмалами различного вида. Поэтому кроме нативного крахмала для поверхностной проклейки использовался крахмал, модифицированный амилолитическими ферментами, вызывающими его энзиматическую модификацию (амилаза, изоамилаза и пуллулаза) [3].

Для исследования влияния вида крахмала, используемого для поверхностной проклейки, на свойства картона, были проведены обработки образцов материала составом на основе нативного и биомодифицированного крахмала. А затем проведена оценка физико-механических (прочностных и деформационных) свойств.

Суспензию крахмала с концентрацией сухих веществ 20 % клейстеризовали, остужали и вносили один из ферментов в расчете 200 единиц активности на 1 г сухих веществ. Затем крахмальный клейстер с внесенными ферментами выдерживали в течение 3 часов при температуре 50 °С и постоянном перемешивании.

Пропитку образцов картона проводили при концентрации крахмала 20 % и 10 %. Пропитанные образцы картона высушивали конвективно при комнатной температуре. А далее изучали физико-механические свойства картона при испытании на растяжение на приборе Тестсистема – 101 [4].

Прочность картона оценивали с помощью разрушающего напряжения ( $\sigma_p$ ) и работы разрушения ( $A_p$ ), а жесткость – с помощью начального модуля упругости ( $E_1$ ), деформации при разрушении ( $\epsilon_p$ ) и жесткости при растяжении ( $S_t$ ) (таблица 1).

Пропитка образцов картона как нативным, так и модифицированным крахмалом приводит к получению более прочных образцов картона (в среднем на 35 %). Использование для поверхностной проклейки нативного крахмала и крахмала модифицированного пуллулазой приводит к повышению жесткости и снижению растяжимости образцов картона в среднем на 45 и 20 %, соответственно (рис. 1).

Это очевидно связано с различиями в механизме модификации крахмала: пуллулаза способна гидролизовать  $\alpha$ -1,6-гликозидные связи в пуллулане, амилопектине и других разветвленных полисахаридах, что ведет к появлению линейных олигосахаридов, содержащих

$\alpha$ -1,4-гликозидные связи. Однако, если между двумя  $\alpha$ -1,6-гликозидными связями расположено больше трех остатков глюкозы, то процесс расщепления идет значительно медленнее. Изоамилаза также гидролизует  $\alpha$ -1,6-гликозидные связи в ветвящихся полисахаридах. Однако, в отличие от пуллулаказы, изоамилаза подвергает гидролизу все боковые связи амилопектина [5].

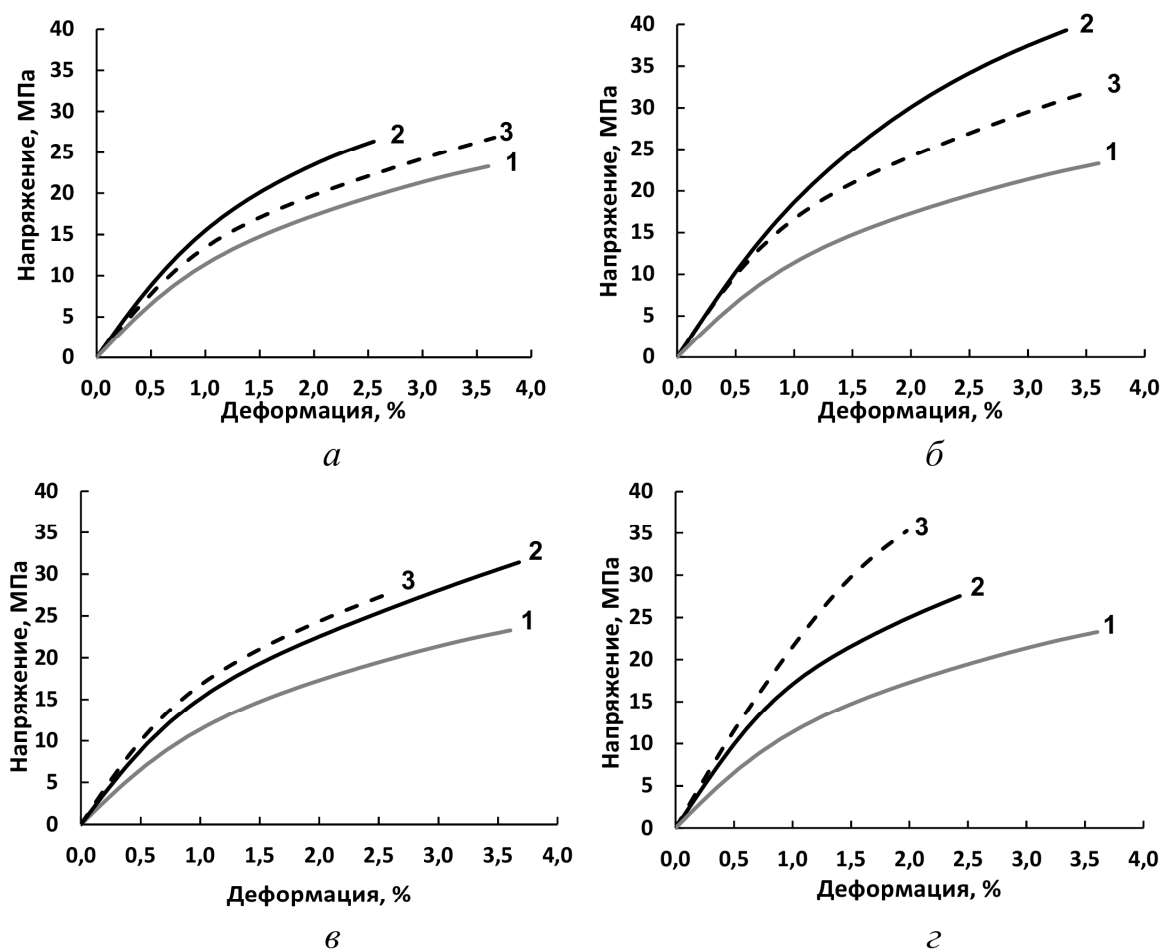
Фермент  $\alpha$ -амилаза гидролизует  $\alpha$ -1,4-гликозидные связи в крахмале. Фермент имеет выраженное сродство к гликозидным связям, удаленным от конца молекулы.

Результаты поверхностной обработки картона модифицированным и немодифицированным крахмалом сильно зависят от вязкости используемого для проклейки раствора. Чем выше вязкость, тем труднее происходит проникновение раствора внутрь материала. Поэтому на следующем этапе исследования было предложено снизить концентрацию раствора, используемого для поверхностной проклейки в два раза ( $c = 10\%$ ).

**Таблица 1 – Влияние вида крахмала и концентрации состава, используемого для поверхностной проклейки, на физико-механические свойства картона**

Вид крахмала, используемого для проклейки	Концентрация состава, %	Показатели				
		прочности		жесткости		
		$\sigma_p$ , МПа	$A_p$ , мДж	$\epsilon_p$ , %	$E_1$ , МПа	$S_t$ , кН/м
Контроль (без проклейки)	–	23,3	229	3,61	1390	406
нативный крахмал	20	26,3	167	2,55	1860	509
	10	26,8	260	3,66	1640	462
крахмал, модифицированный амилазой	20	39,3	316	3,33	2120	564
	10	32,0	287	3,54	2110	565
крахмал, модифицированный изоамилазой	20	31,4	307	3,68	1880	544
	10	27,8	179	2,60	2140	571
крахмал, модифицированный пуллулоназой	20	27,5	161	2,43	2060	542
	10	35,3	150	1,98	2360	616

Снижение концентрации состава, используемого для крахмальной проклейки с 20 до 10 %, при модификации крахмала пуллулоназой приводит к повышению прочности и жесткости на 14 % и снижению растяжимости образцов картона на 18 %. При использовании для проклейки разбавленных составов ( $c = 10\%$ ) на основе крахмала, модифицированного амилазой и изоамилазой, приводит к потере прочности образцов картона на 15 %.



*a* – нативный крахмал; *б* – амилаза; *в* – изоамилаза; *г* – пуллулоназа;  
 1 – без поверхностной обработки; 2 – концентрация состава 20 %;  
 3 – концентрация состава 10 %

**Рисунок 1 – Влияние вида крахмала и концентрации состава, используемого для поверхностной проклейки, на кривые «напряжение – деформация»:**

Выводы по работе:

1. Обнаружено, что проведение поверхностной обработки картона составами на основе модифицированного крахмала позволяют повысить его прочность в среднем на 35 % и жесткость на 45 %, при этом растяжимость снижается на 20 %.

2. Понижение концентрации составов на основе крахмала, используемых для поверхностной проклейки картона, с 20 до 10 % приводит к снижению его прочности на 15 % (за исключением крахмала, модифицированного пуллулонозой). Степень изменения свойств зависит от вида фермента, используемого для модификации крахмала.

3. Максимальной статической и динамической прочностью обладают образцы картона, пропитанного крахмалом, модифицирован-

ным амилазой при концентрации 20 %, при этом жесткость и растяжимость также имеют повышенные значения.

*Работа выполнена на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Муллина Э.Р., Чупрова Л.В. Модифицированные формы крахмала, используемые для улучшения эксплуатационных свойств целлюлозных композиционных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. № 11-1. С. 18–20.

2. Хованский, В.В. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона/ В.В. Хованский, В.К. Дубовый, П.М.Кейзер. СПб.: СПбГТУРП, 2013. – 153 с.

3. Михайлова О.С., Крякунова Е.В., Канарский А.В., Казаков Я.В., Дулькин Д.А., Холмова М.А. Влияние поверхностной пропитки биомодифицированным крахмалом на прочностные характеристики картона / В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 14–16 сентября 2017 г.) // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2017. С.349–354.

4. Свидетельство № 2001610526 Российская Федерация. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов (КОМПЛЕХ): свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Я.В. Казаков, В.И. Комаров; заявитель и правообладатель Гос. образоват. учреждение Арханг. гос. техн. ун-т. - № 3001510250; заявл. 11.03.2001; опубл. 10.05.2001, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

5. Степаненко, Б.Н. Химия и биохимия углеводов (полисахариды). Ч.2. М., Высш. школа, 1978. – 256 с.