

УДК 676.017.66

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ХИТОЗАНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ГИДРОФОБНОСТИ КРАФТ-БУМАГИ*

© *А.В. Поташев***, *А.В. Гурьев*, *В.В. Медведев*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, Архангельск, 163002 (Россия), e-mail: a.potashhev@narfu.ru

Данная работа посвящена рассмотрению возможности и обоснованию использования продуктов на основе технического хитозана как полисахарида животного происхождения в качестве добавки при изготовлении лабораторных образцов упаковочной крафт-бумаги с повышенной гидрофобностью.

Цель работы – оптимизация условий получения упаковочной крафт-бумаги с использованием метода математического планирования эксперимента в соответствии с трехфакторным равномерным планом второго порядка Бокса-Хантера.

Показана возможность эффективной гидрофобизации достаточно тонкого целлюлозного волокнистого материала, имеющего массу 1 м² 70 г. В исследованном факторном пространстве установлены математические зависимости, адекватно описывающие влияние основных технологических параметров – расхода хитозана (0.5–1.5%), степени помола бумажной массы (25–35 °ШР) и содержания в композиции хвойной целлюлозы (80–100%) на гидрофобность (повышение влагостойкости) бумаги и ее физико-механические характеристики.

Показано, что в присутствии в композиции хитозана гидрофобность крафт-бумаги по показателю поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (метод Кобба) многократно усиливается и при максимальном расходе продукта (1.5%) достигает 24–25 г/м². При этом значения степени помола массы и содержание хвойной целлюлозы в композиции могут варьироваться в достаточно широком технологическом диапазоне в соответствии с исследованным факторным пространством.

Увеличение расхода хитозана, степени помола волокон и содержания хвойной целлюлозы в композиции одновременно обеспечивает прирост значений практически всех физико-механических характеристик лабораторных образцов упаковочной крафт-бумаги.

Ключевые слова: крафт-бумага, хитин, хитозан, гидрофобность, впитываемость по Коббу, степень помола, композиция по волокну.

Работа выполнена при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

Введение

Хитозан является природным полисахаридом с возобновляемым ресурсом, занимающий второе место

Поташев Александр Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера», e-mail: a.potashhev@narfu.ru

Гурьев Александр Владиславович – кандидат технических наук, профессор кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических производств, e-mail: a.guriev@narfu.ru
Медведев Василий Викторович – аспирант, инженер инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера», e-mail: parker2005@mail.ru

по распространенности в природе после целлюлозы [1, 2]. Данный биополимер содержится в составе экзоскелета членистоногих и других беспозвоночных животных, клеточной стенки грибов, ряда бактерий и водорослей. Хитин представляет собой линейный полисахарид, состоящий из N-ацетил-2-амино-2-дезоксид-D-глюкопиранозы, связанной 1-4-гликозидными связями. В выделенном из природных источников хитине, как правило, содержится 5–10% остатков 2-амино-2-дезоксид-D-глюкозы [3, 4].

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprtm.20230111259s

** Автор, с которым следует вести переписку.

Среди областей применения хитозана можно выделить медицину, сельское хозяйство, косметическую промышленность [5]. Однако крупномасштабное применение хитозана сдерживается низким уровнем его физико-механических свойств. Спрос на хитозан в мире увеличивается с каждым годом в связи с опережающей производством потребностью в нем. Несмотря на имеющиеся сырьевые ресурсы, Россия пока не входит в число крупных производителей хитозана. Его широкое практическое применение связано с созданием пленок различного функционального назначения на его основе [6, 7]. Отмечается, что пленки хитозана, сформированные испарением растворителя из его водно-кислотных растворов различного состава, значительно отличаются уровнем деформационно-прочностных характеристик, что обусловлено различиями в организации их надмолекулярной структуры и степени кристалличности [5, 8, 9].

Одним из перспективных направлений использования продуктов на основе хитозана является получение водостойких упаковочных материалов, что наиболее полно отражено в работах [10–18]. Исходя из этого технический уровень проблемы создания водостойкой крафт-бумаги с использованием природного биополимера хитозана в целом высок. Принимая во внимание большое количество публикаций разной направленности, можно сделать вывод об очевидном интересе к этому направлению исследований, о его актуальности и перспективности.

Экспериментальная часть

Для моделирования композиции лабораторных образцов крафт-бумаги авторами произведен отбор проб небеленой хвойной и лиственной сульфатной целлюлозы на АО «Архангельский ЦБК» (Новодвинск).

Размол волокнистых полуфабрикатов производился в центробежном размалывающем аппарате (ЦРА), созданном по типу мельницы Йокро, при концентрации 6% до заданной степени помола.

Изготовление лабораторных образцов бумаги проводилось на лабораторном листоотливном аппарате типа Рапид-Кетен, масса образцов составляла 70 г/м². Добавка раствора хитозана проводилась непосредственно в бумажную массу перед отливом.

Подготовка образцов целлюлозы к физико-механическим испытаниям, кондиционирование образцов, а также определение их физико-механических показателей осуществлялись согласно стандартизированным методикам [19–24].

К моменту решения задачи оптимизации условий получения гидрофобных образцов крафт-бумаги с добавкой продуктов на основе хитозана сформировалось четкое представление о границах и интервалах варьирования независимых управляемых параметров в факторном пространстве. Очевидно, что цели оптимизации в рамках жесткого ограничения минимально допустимых колебаний значений поверхностной впитываемости и проблемных характеристик качества методами традиционного пошагового лабораторного моделирования практически недостижимы. В связи с этим реализован запланированный эксперимент в соответствии с трехфакторным равномер-ротатабельным планом второго порядка Бокса-Хантера [25, 26], предполагающий проведение двадцати лабораторных опытов, моделирующих процесс получения крафт-бумаги. В качестве независимых переменных были приняты: расход хитозана к массе изделия (G , %); степень помола (СП, °ШР); содержание хвойной целлюлозы в композиции (К, %). Диапазон варьирования исследуемых факторов (табл. 1), принятый на основе анализа литературных данных и ранее проведенных исследований, позволил наиболее полно оценить возможность влияния входных параметров процесса на свойства образцов крафт-бумаги. При этом решается задача получения математических моделей, связывающих основные исследуемые факторы с характеристиками гидрофобности и прочности крафт-бумаги.

Таблица 1. Значения и интервалы варьирования факторов

Управляемые параметры	Характеристики плана					
	Шаг варьирования	Уровень факторов				
		-1.682 (- α)	-1	0	1	1.682 (+ α)
x_1 (G, %)	0.3	0.5	0.7	1	1.3	1.5
x_2 (СП, °ШР)	3	25	27	30	33	35
x_3 (К, %)	6	80	84	90	96	100

Характер влияния основных факторов на исследуемые параметры устанавливали, используя в качестве моделей полученные уравнения регрессии в кодированной форме. Расчетные математические модели базируются на уравнении следующего вида:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$$

В качестве выходных параметров исследованы поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб₆₀) и комплекс физико-механических характеристик лабораторных образцов крафт-бумаги (табл. 2), включая сопротивление продавливанию (П), разрывную длину (L), плотность (ρ), жесткость при растяжении (S_t), энергию, поглощаемую при растяжении (ТЕА), разрушающее напряжение (σ_p), деформацию разрушения (ε_p).

Для математической обработки результатов проведенного эксперимента был использован комплекс программ для ЭВМ, включающий в себя: расчеты величин коэффициентов уравнений регрессии и оценку значимости коэффициентов по критерию Стьюдента; проверку адекватности полученной модели по критерию Фишера (F_{расч}) для 5% уровня значимости (при этом в полученную модель последовательно включали незначимые, но близкие к пределу значимости коэффициенты с максимальной абсолютной величиной, оставляя их, если расчетное значение критерия Фишера уменьшалось); расчет значений факторов, при которых обеспечиваются максимальные значения аппроксимирующего полинома в области варьирования факторов; расчет данных для построения поверхностей отклика при попарном изменении двух факторов и фиксировании остальных на задаваемом уровне; расчет по уравнениям регрессии величин всех выходных параметров при задаваемых значениях факторов. Коэффициенты уравнений регрессии представлены в таблице 3 в кодированной форме.

При анализе влияния исследованных факторов на основные свойства крафт-бумаги учитывали абсолютную величину характеристики и знак при коэффициентах в уравнении. Чем выше по модулю значения коэффициентов при линейных членах уравнения регрессии вида b_i (b₁–b₃), тем сильнее выражено влияние фактора. Значимые коэффициенты парных взаимодействий вида b_{ij} (b₁₂–b₂₃) свидетельствуют об искривлении поверхности отклика в исследуемой области, а коэффициенты, учитывающие квадратичные эффекты b_{ii} (b₁₁–b₃₃), указывают на наличие экстремумов.

Таблица 2. Условия проведения и результаты планированного эксперимента

№	Условия эксперимента			Выходные параметры							
	G, %	СП, °ШР	K, %	Кобб ₆₀ , г/м ²	ρ, г/см ³	L, м	П, кПа	S _t , кН/м	ТЕА, Дж/м ²	σ _p , МПа	ε _p , %
1	0.7	27	84	42.0	0.730	8600	350	450	114	62.5	2.94
2	1.3	27	84	28.0	0.720	9000	385	470	128	65.6	3.08
3	0.7	33	84	47.0	0.750	9100	390	490	112	70.0	2.93
4	1.3	33	84	24.0	0.730	9600	390	470	127	72.4	2.97
5	0.7	27	96	39.0	0.720	8800	375	440	139	63.6	3.41
6	1.3	27	96	26.0	0.720	9000	375	450	142	65.0	3.38
7	0.7	33	96	46.0	0.740	10500	390	520	151	79.2	3.20
8	1.3	33	96	25.0	0.770	10600	415	530	157	81.8	3.24
9	0.5	30	90	49.0	0.750	8900	405	440	130	67.3	3.22
10	1.5	30	90	22.0	0.760	9900	430	500	155	75.1	3.44
11	1	25	90	29.0	0.680	8300	405	480	112	56.1	2.92
12	1	35	90	31.0	0.750	9500	425	490	143	70.8	3.33
13	1	30	80	31.0	0.750	8600	415	470	108	65.1	2.81
14	1	30	100	29.0	0.750	9700	420	470	155	72.5	3.58
15	1	30	90	28.0	0.760	9400	420	450	148	70.7	3.34
16	1	30	90	29.0	0.720	9100	415	480	130	66.0	3.19
17	1	30	90	28.0	0.730	9300	420	470	144	68.9	3.30
18	1	30	90	28.0	0.730	9200	415	470	139	67.7	3.24
19	1	30	90	31.0	0.730	9300	420	450	144	68.9	3.28
20	1	30	90	30.0	0.730	9400	420	460	148	70.5	3.33

Таблица 3. Значимые коэффициенты уравнений регрессии физико-механических характеристик крафт-бумаги

Коэффициент	Кобб ₆₀ , г/м ²	ρ , г/см ³	L, М	П, кПа	S_r , кН/м	TEA , Дж/м ²	σ_p , МПа	ϵ_p , %
b_0	28.871	0.734	9255.514	418.333	461.195	142.135	68.602	3.278
b_1	-8.522	0.001	208.030	7.470	9.103	5.750	1.650	0.041
b_2	0.759	0.016	451.745	9.197	15.520	5.503	5.225	0.016
b_3	-0.612	0.001	321.582	3.544	3.465	13.618	2.306	0.191
b_{12}	-2.125	–	–	–	–	–	–	–
b_{13}	–	–	–	–	–	–	–	–
b_{23}	–	–	262.875	–	14.850	–	2.251	–
b_{11}	2.864	0.006	102.484	-7.557	2.602	0.111	1.367	0.004
b_{22}	0.919	-0.008	-76.281	-7.734	8.720	-5.052	-1.386	-0.068
b_{33}	0.919	0.005	7.886	-6.142	2.814	-3.655	0.504	-0.043
$F_{\text{табл}}$	4.82	4.74	4.82	4.74	4.82	4.74	4.82	4.74
$F_{\text{расч}}$	3.75	2.02	4.63	57.72	2.84	1.65	1.33	6.23
$R_{\text{мк}}$	0.98	0.67	0.95	0.74	0.80	0.91	0.96	0.88

Обсуждение результатов

Модели таких выходных параметров, как поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб₆₀), плотность, разрывная длина, жесткость при растяжении, энергия, погашаемая при растяжении и разрушающее напряжение, полученные на основе аппроксимирующего полинома, адекватно отражают формирование свойств исследуемых образцов крафт-бумаги, так как расчетные значения критерия Фишера ($F_{\text{расч}}$) оказались ниже, чем допустимые (табличные) значения ($F_{\text{табл}}$). При этом высокие значения коэффициентов множественной корреляции свидетельствуют о достижении необходимой точности аппроксимации. Исключение составляют расчетные модели для сопротивления продавливанию и деформации разрушения образцов крафт-бумаги, адекватность которых в условиях эксперимента не нашла подтверждения.

Значимые коэффициенты уравнений регрессии, отражающие влияние расхода хитозана и содержание хвойной целлюлозы, имеют отрицательный отклик применительно к поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (Кобб₆₀) т.е. их увеличение приводит к закономерному снижению данного показателя. В то же время увеличение расхода хитозана, степени помола и содержания хвойной целлюлозы приводит к росту практически всех физико-механических характеристик лабораторных образцов крафт-бумаги.

Данный результат в первую очередь подтверждает увеличение эффекта гидрофобности при добавке продуктов на основе хитозана в массу и увеличении их расхода. При этом одновременное увеличение содержания хвойной целлюлозы в композиции усиливает данный эффект, так как волокна хвойной целлюлозы имеют более высокую гидрофобность, вследствие особенностей содержащихся в них гемицеллюлоз.

Вместе с тем следует отметить, что увеличение степени помола массы в исследуемом диапазоне при низких расходах продуктов на основе хитозана (до 1%) способствует увеличению впитываемости по Коббу, однако при увеличении расхода хитозана выше 1% тенденция изменения поверхностной впитываемости воды меняется на обратную. Подобную зависимость авторы объясняют тем, что при содержании хитозана в массе до 1% фактор разработки поверхности волокна (с увеличением) степени помола превалирует над фактором блокирования поверхности волокон хитозаном. При расходе хитозана 1–1.5% и одновременном увеличении степени помола массы наблюдается более сильная гидрофобизация поверхности волокон вследствие формирования устойчивого комплекса хитозана с целлюлозой. Это возможно за счет образования водородных связей, в числе между аминогруппами хитозана и гидроксильными группами целлюлозы. При этом происходит значительное уплотнение структуры образцов крафт-бумаги, что в целом усиливает гидрофобизацию поверхности волокон и материала в целом.

Для наглядности избирательного влияния исследованных факторов на основные свойства крафт-бумаги на рисунке и в электронном приложении приведены поверхности отклика. Для одного выходного параметра путем попарной комбинации факторов и фиксации третьего на определенном уровне построены 3 поверхности.

Основываясь на полученных математических моделях и результатах анализа поверхностей отклика, определен максимум полинома и соответствующие ему параметры режимов получения лабораторных образцов крафт-бумаги, обеспечивающих максимальный уровень требуемых характеристик (табл. 4).

Результат расчета характеристик крафт-бумаги, полученной по режиму, обеспечивающему максимальный уровень физико-механических характеристик, позволяет прогнозировать получение лабораторных образцов крафт-бумаги с показателем поверхностной впитываемости воды по методу Кобба 24–25 г/м² и необходимым уровнем остальных характеристик качества. Эти условия являются оптимальными, что подтверждено независимой апробацией в дополнительном лабораторном эксперименте. Сопоставление рассчитанных с помощью математических моделей и фактических характеристик крафт-бумаги свидетельствует о практически полной их сходимости (табл. 5).

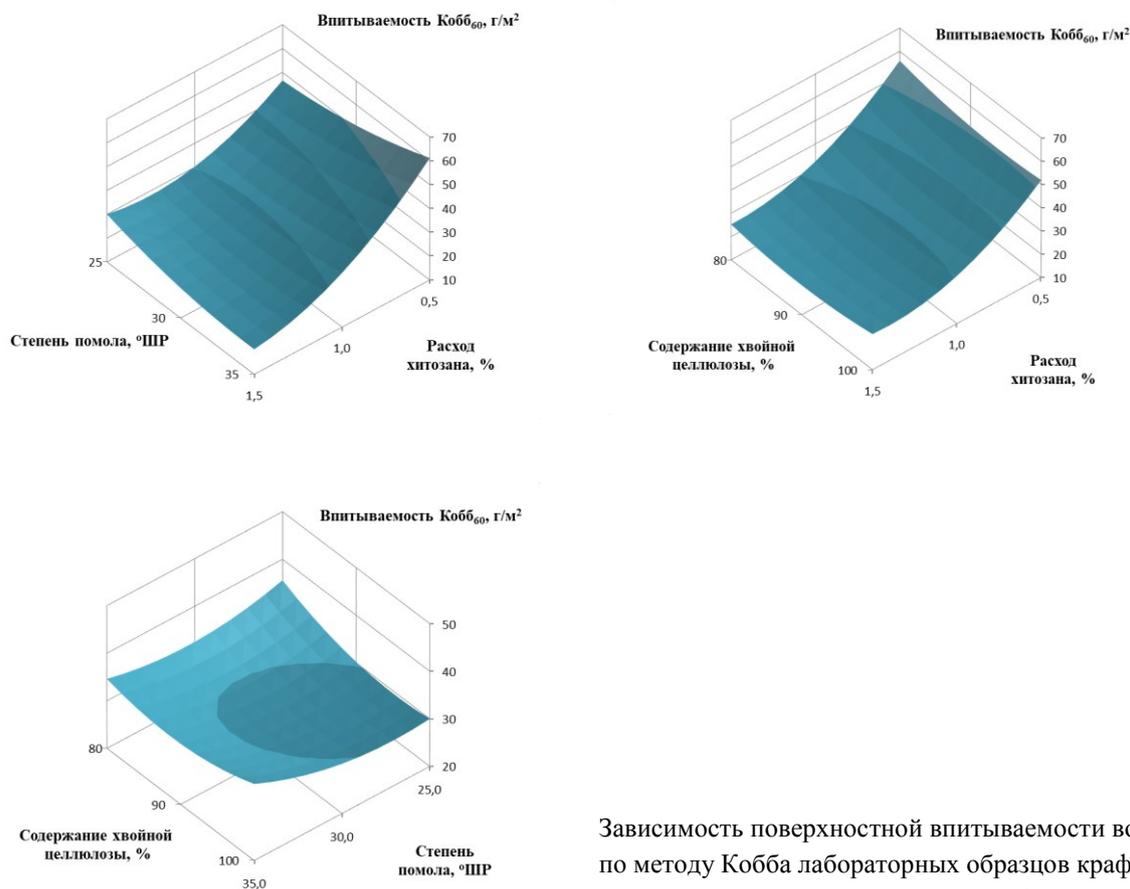


Таблица 4. Расчетные значения исследованных факторов и оптимизируемых параметров

Значения исследованных факторов, рассчитанные по уравнениям регрессии						
Расход хитозана, %	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Степень помола, °ШР	35.00	35.0	33.6	35.0	35.0	35.0
Содержание хв. целлюлозы, %	86.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Оптимизируемые параметры						
Показатель	Кобб ₆₀	L	ТЕА	σ	ρ	St
Кобб ₆₀ , г/м ²	20.2	24.9	24.5	24.9	24.9	24.9
L, м	10068	11551	11230	11551	11545	11551
ТЕА, Дж/м ²	138	164	165	164	164	164
σ, МПа	77	91	89	91	91	91
ρ, г/см ³	0.754	0.811	0.809	0.811	0.811	0.811
S _t , кН/м	501	583	556	583	583	583
В процентах от величины для нулевого уровня						
Кобб ₆₀ , г/м ²	70	86	85	86	86	86
L, м	109	125	121	125	125	125
ТЕА, Дж/м ²	97	115	116	115	115	115
σ, МПа	112	133	130	133	133	133
ρ, г/см ³	103	111	110	111	111	111
S _t , кН/м	109	126	121	126	126	126

Таблица 5. Результаты оптимизации условий получения лабораторных образцов крафт-бумаги

Характеристики полу- фабриката	Оптимальные условия ($G=1.5\%$; $СП=35$ °ШР; $K=100\%$)		
	Расчетные значения (по мо- делям)	Фактические значения хито- зан порошковый	Фактические значения хито- зан чешуйчатый
Кобб ₆₀ , г/м ²	24.9	24.0	23.0
L , м	11500	10900	10900
ТЕА, Дж/м ²	164	159	161
σ , МПа	91	92	92
ρ , г/см ³	0.811	0.807	0.808
S_t , кН/м	583	579	578

Выводы

Экспериментальные данные, полученные при исследовании лабораторных образцов упаковочной крафт-бумаги методом математического планирования в соответствии с трехфакторным равномерным планом второго порядка Бокса-Хантера, доказали возможность эффективной гидрофобизации достаточно тонкого волокнистого материала, имеющего массу 70 г/м². В исследованном факторном пространстве установлены математические зависимости, адекватно описывающие влияние основных технологических параметров – расхода хитозана, степени помола бумажной массы и композиции по волокну, на гидрофобность бумаги и ее физико-механические характеристики.

Показано, что зависимость гидрофобности крафт-бумаги по показателю впитываемость по Коббу носит практически линейный характер и обеспечивается на уровне 24–25 г/м² при расходе хитозана около 1.5%. При этом значения степени помола массы и содержание хвойной целлюлозы в композиции бумаги могут варьироваться в достаточно широком технологическом диапазоне, не только установленном в экспериментальном факторном пространстве, но и характерном для реальных производственных условий.

Список литературы

1. Хитозан / под ред. К.Г. Скрябина, С.Н. Михайлова, В.П. Варламова. М., 2013. 593 с.
2. Хитин и хитозан: получение, свойства и применение / под ред. К.Г. Скрябина, Г.А. Вихорева, В.П. Варламова. М., 2002. 368 с.
3. Немцев С.В. Комплексная технология хитина и хитозана из панциря ракообразных. М., 2006. 134 с.
4. Быкова В.М., Немцев С.В. Сырьевые источники и способы получения хитина и хитозана // Химия и технология полимеров. М., 2002. Т. 1. С. 6–22.
5. Федосеева Е.Н., Алексеева М.Ф., Смирнова Л.А. Механические свойства пленок хитозана различной молекулярной массы // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. №5. С. 58–62.
6. Бровко О.С., Казаков Я.В., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А. Применение целлюлозных волокон для повышения прочности полимерных диализных мембран // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Международной научно-технической конференции, посвященной памяти профессора В.И. Комарова. Архангельск, 2011. С. 251–256.
7. Бровко О.С., Казаков Я.В., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А., Тормосина Д.А., Боголицин К.Г. Влияние молекулярных масс лигносульфонатов на прочностные свойства полимерных пленок на их основе // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы II Международной научно-технической конференции, посвященной памяти профессора В.И. Комарова. Архангельск, 2013. С. 176–181.
8. Агеев Е.П., Вихорева Г.А., Матушкина Н.Н. и др. Зависимость некоторых структурных и транспортных свойств хитозановых пленок от условий их формирования и характеристик полимера // Высокомолекулярные соединения А. 2000. Т. 42. №2. С. 333–339.
9. Чернышова Е.Б. Модификация пленочных материалов на основе хитозана низкомолекулярными и полимерными альдегидами: дис. ... канд. хим. наук. Волгоград, 2018. 116 с.
10. Патент №2293751 (РФ). Твердый носитель, покрытый слоем на основе хитозана, и способ его изготовления / А. Домар, А. Эспюш, С. Деспон, Н. Картье. – 2007.
11. Патент №2667450 (РФ). Способ получения бумаги или картона / М. Виртанен. 2018.
12. Patent 112647357 (CN). Preparation method of waterproof, oil-proof and antibacterial packaging paperboard / L. Wang, F. Wang, Sh. Ma, J. Li, X. Zhang, H. Song. 2021.
13. Patent 112609509 (CN). Waterproof air-isolating paper cone and preparation method and application thereof / J. Si, Sh. Wang, H. Huang, H. Li. 2021.
14. Patent 108797195 (CN). Papermaking process for improving durability and waterproof properties of paper / C. Yuan. 2018.
15. Patent 106801362 (CN). Degradable waterproof paper with water vapor barrier property improved by chitosan bentonite compound / Z. Li. 2017.

16. Patent 2003166197 (JP). Method of producing paper treated with chitosan or dac by treating the same with aqueous solution of chitosan or dac and carbon dioxide / H. Yoshioka, Y. Sakai. 2013.
17. Patent H08218294 (JP). Paper filled with chitin and/or chitosan / M. Nakagawa. 1996.
18. Patent 2025890 (NL). Preparation method of lignin-chitosan based fluoride-free high-strength super-hydrophobic paper / Sh. Wang, H. Sun, F. Kong. 2021.
19. ГОСТ 14363.4-89. Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. М., 1989. 14 с.
20. ГОСТ 13523-78. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод кондиционирования образцов (с Изменениями N 1, 2, 3). М., 1999. 4 с.
21. ГОСТ 27015-86. Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. М., 2002. 4 с.
22. ГОСТ 13525.1-79. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении (с Изменениями N 1, 2). М., 2007. 5 с.
23. ГОСТ 12605-97 (ИСО 535-91). Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (метод Кобба). Минск, 2001. 8 с.
24. ГОСТ 13525.8-86. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Бумага и картон. Метод определения сопротивления продавливанию. М., 2007. 6 с.
25. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И. Расчеты в планировании эксперимента: учебное пособие. Архангельск, 2008. 124 с.
26. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. Красноярск, 2003. 246 с.

Поступила в редакцию 5 апреля 2022 г.

После переработки 17 мая 2022 г.

Принята к публикации 23 ноября 2022 г.

Для цитирования: Поташев А.В., Гурьев А.В., Медведев В.В. Использование продуктов на основе технического хитозана для повышения гидрофобности крафт-бумаги // Химия растительного сырья. 2023. №1. С. 367–374. DOI: 10.14258/jcrpm.20230111259.

*Potashov A.V.**, *Guryev A.V.*, *Medvedev V.V.* APPLICATION OF CHITOSAN-BASED PRODUCTS TO INCREASE HYDROPHOBIC PROPERTIES OF CRAFT PAPER

Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, nab. Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002 (Russia), e-mail: a.potashov@narfu.ru

We devoted our research to study and substantiate the possibility of using products based on commercial chitosan. As an animal polysaccharide, it was applied as an additive in manufacturing laboratory samples of kraft packaging paper with increased hydrophobic properties.

The research aimed to optimize conditions to produce packaging kraft paper by means of mathematical planning method of the experiment in accordance with the three factor uniform-rotatable second-order model by Box and Hunter.

It is shown that that the effective hydrophobization of a fairly thin cellulose fibrous material, weight of 1 m² 70 g, is possible. In the studied factor space, we have established mathematical dependences that fit well the influence of the main technological parameters – the consumption of chitosan (0.5–1.5%), the beating degree of paper pulp (25–35 °SR) and softwood content in fiber furnish (80–100%) on the hydrophobicity (increasing moisture resistance) of paper and its physical and mechanical properties.

It is shown that the presence of chitosan in fiber furnish leads to the hydrophobicity of kraft paper in terms of surface water absorption during one-sided wetting (Cobb test) increases many times and reaches 24–25 g/m² at the maximum product consumption (1.5%). At the same time, the values of beating degree of paper pulp and softwood content in fiber furnish can vary in a fairly wide technological range, in accordance with the studied factor spaces.

Increasing the consumption of chitosan, the beating degree of pulp fibers and softwood content in fiber furnish simultaneously provides an increase in the values of almost all physical and mechanical properties of laboratory kraft packaging paper.

Keywords: kraft paper, chitin, chitosan, hydrophobicity, Cobb test, beating degree, fiber furnish.

* Corresponding author.

References

1. Khitozan. [Chitosan], ed. K.G. Skryabin, S.N. Mikhaylov, V.P. Varlamov. Moscow, 2013, 593 p. (in Russ.).
2. *Khitin i khitozan: polucheniye, svoystva i primeneniye*. [Chitin and chitosan: obtaining, properties and application], ed. K.G. Skryabin, G.A. Vikhoreva, V.P. Varlamov. Moscow, 2002, 368 p. (in Russ.).
3. Nemtsev S.V. *Kompleksnaya tekhnologiya khitina i khitozana iz pantsirya rakoobraznykh*. [Integrated technology of chitin and chitosan from crustacean shell]. Moscow, 2006, 134 p. (in Russ.).
4. Bykova V.M., Nemtsev S.V. *Khimiya i tekhnologiya polimerov*. [Chemistry and technology of polymers]. Moscow, 2002, vol. 1, pp. 6–22. (in Russ.).
5. Fedoseyeva Ye.N., Alekseyeva M.F., Smirnova L.A. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2008, no. 5, pp. 58–62. (in Russ.).
6. Brovko O.S., Kazakov Ya.V., Boytsova T.A., Palamarchuk I.A. *Problemy mekha-niki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora V.I. Komarova*. [Problems of the mechanics of pulp and paper materials: materials of the I International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of Professor V.I. Komarova]. Arkhangelsk, 2011, pp. 251–256. (in Russ.).
7. Brovko O.S., Kazakov Ya.V., Boytsova T.A., Palamarchuk I.A., Tormosina D.A., Bogolitsin K.G. *Problemy mekha-niki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora V.I. Komarova*. [Problems of the mechanics of pulp and paper materials: materials of the II International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of Professor V.I. Komarova]. Arkhangelsk, 2013, pp. 176–181. (in Russ.).
8. Ageyev Ye.P., Vikhoreva G.A., Matushkina N.N. et al. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya A*, 2000, vol. 42, no. 2, pp. 333–339. (in Russ.).
9. Chernyshova Ye.B. *Modifikatsiya plenochnykh materialov na osnove khitozana nizkomolekulyarnymi i polimernymi al'degidami: dis. ... kand. khim. nauk*. [Modification of film materials based on chitosan with low molecular weight and polymeric aldehydes: diss. ... cand. chem. Sciences]. Volgograd, 2018, 116 p. (in Russ.).
10. Patent 2293751 (RU). 2007. (in Russ.).
11. Patent 2667450 (RU). 2018. (in Russ.).
12. Patent 112647357 (CN). 2021.
13. Patent 112609509 (CN). 2021.
14. Patent 108797195 (CN). 2018.
15. Patent 106801362 (CN). 2017.
16. Patent 2003166197 (JP). 2013.
17. Patent H08218294 (JP). 1996.
18. Patent 2025890 (NL). 2021.
19. *GOST 14363.4-89. Tsellyuloza. Metod podgotovki prob k fiziko-mekhanicheskim ispytaniyam*. [GOST 14363.4-89. Cellulose. Method for preparing samples for physical and mechanical tests]. Moscow, 1989, 14 p. (in Russ.).
20. *GOST 13523-78. Polufabrikaty voloknistyye, bumaga i karton. Metod konditsionirovaniya obraztsov (s Izmeneniyami N 1, 2, 3)*. [GOST 13523-78. Semi-finished fibrous products, paper and cardboard. Sample Conditioning Method (with Amendments no. 1, 2, 3)]. Moscow, 1999, 4 p. (in Russ.).
21. *GOST 27015-86. Bumaga i karton. Metody opredeleniya tolshchiny, plotnosti i udel'nogo ob'yema*. [GOST 27015-86. Paper and cardboard. Methods for determining thickness, density and specific volume]. Moscow, 2002, 4 p. (in Russ.).
22. *GOST 13525.1-79. Polufabrikaty voloknistyye, bumaga i karton. Metody opredeleniya prochnosti na razryv i udlineniya pri rastyazhenii (s Izmeneniyami N 1, 2)*. [GOST 13525.1-79. Semi-finished fibrous products, paper and cardboard. Methods for determining tensile strength and tensile elongation (with Amendments no. 1, 2)]. Moscow, 2007, 5 p. (in Russ.).
23. *GOST 12605-97 (ISO 535-91). Bumaga i karton. Metod opredeleniya poverkhnostnoy vpityvayemosti vody pri odnostonnem smachivani (metod Kobba)*. [GOST 12605-97 (ISO 535-91). Paper and cardboard. Method for determining the surface water absorption with one-sided wetting (Cobb method)]. Minsk, 2001, 8 p. (in Russ.).
24. *GOST 13525.8-86. Polufabrikaty voloknistyye, bumaga i karton. Bumaga i karton. Metod opredeleniya soprotivleniya prodavlivaniyu*. [GOST 13525.8-86. Semi-finished fibrous products, paper and cardboard. Paper and cardboard. Method for determining bursting resistance]. Moscow, 2007, 6 p. (in Russ.).
25. Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N., Tretyakov S.I., Zhabin V.I. *Raschety v planirovani eksperimenta: uchebnoye posobiye*. [Calculations in experiment planning: a tutorial]. Arkhangelsk, 2008, 124 p. (in Russ.).
26. Pen R.Z. *Planirovaniye eksperimenta v Statgraphics*. [Planning an experiment in Statgraphics]. Krasnoyarsk, 2003, 246 p. (in Russ.).

Received April 5, 2022

Revised May 17, 2022

Accepted November 23, 2022