

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 676.22.017
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-4-67-77>

Поступила в редакцию 06.06.2022
Received 06.06.2022

**Х. А. Бабаханова¹, А. А. Садриддинов¹, Д. И. Абдирахманова¹,
И. И. Исмаилов², М. А. Бабаханова³**

¹Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Узбекистан

²Наманганский инженерно-строительный институт, Наманган, Узбекистан

³Ташкентский государственный технический университет ГУП «Фан ва тараккиет»,
Ташкент, Узбекистан

ГИДРОФОБИЗАЦИЯ И УПРОЧНЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Аннотация. Исследовано влияние проклеивающего вещества и наполнителя на физико-механические и поверхностные свойства бумаги из целлюлозной массы внутреннего слоя коры веток тутового дерева. По стандартным методикам изучены механическая прочность и впитывающая способность. Поверхностную впитываемость при одностороннем смачивании определяли по методу Кобб₍₃₀₎ путем определения массы воды, поглощенной поверхностью бумаги при смачивании одной стороны испытуемого образца. Выявлено, что целесообразно добавление проклеивающего вещества в пределах от 1 до 1,5 г на 100 г сухого целлюлозного сырья, так как увеличение добавки до 2 г способствует уменьшению межволоконных сил связи на 21 %. Добавление каолина в количестве 6 г влияет на расстояние между волокнами, что уменьшает механические силы сцепления на 12,5 %. В ходе анализа поверхностных свойств образцов бумаги определена эффективность проклейки от 22,5 до 30 % с увеличением проклеивающего вещества, что можно объяснить уплотнением структуры, которая препятствует проникновению водных растворов. Добавление каолина от 2 до 6 г также повышает стойкость к воде от 17,5 до 25 %. С помощью математической модели показаны рациональные значения впитывающей способности при составе бумажной массы 92 % при проклеивающем веществе 1,5 г и количестве наполнителя 4 г. Полученная математическая модель может быть положена в основу управления поверхностных характеристик бумаги в процессе ее производства.

Ключевые слова: бумага, целлюлозная масса, внутренний слой коры веток, проклейка в массу, канифольный клей, механическая прочность, впитывающая способность

Для цитирования. Гидрофобизация и упрочнение целлюлозных материалов из вторичных ресурсов / Х. А. Бабаханова [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 4. – С. 67–77. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-4-67-77>

Kh. A. Babakhanova¹, A. A. Sadriddinov¹, D. I. Abdiraxmanova¹, I. I. Ismailov², M. A. Babakhanova³

¹Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

²Namangan Civil Engineering Institute, Namangan, Uzbekistan

³Tashkent State Technical University State Unitary Enterprise “Fan va tarakkiet”, Tashkent, Uzbekistan

HYDROPHOBIZATION AND STRENGTHENING OF CELLULOSE MATERIALS FROM SECONDARY RESOURCES

Abstract. The influence of the sizing agent and filler on the physical-mechanical and surface properties of paper from the cellulose mass of the inner layer of the bark of mulberry tree branches has been studied. According to standard methods, the mechanical strength and absorbency were studied. Surface absorbency for one-side wetting was determined by the method of Cobb₍₃₀₎ by determining the mass of water absorbed by the paper surface when wetting one side of the test sample. It was found that it is advisable to add a sizing agent in the range from 1 to 1.5 g per 100 g of dry cellulose raw materials, since an increase in the additive to 2 g helps to reduce the interfiber bonding forces by 21 %. The addition of 6 g of kaolin affects the distance between the fibers, which reduces the mechanical adhesive forces by 12.5 %. During the analysis of the surface properties of paper samples, the sizing efficiency was found to be from 22.5 to 30 % with an increase in the addition of sizing glue, which can be explained by densification of the structure, which prevents the penetration of aqueous solutions. The addition of 2 to 6 g of kaolin also increases water resistance from 17.5 to 25 %. With the help of a mathematical model, rational values of absorbency were revealed with a composition of 92 %, with a sizing agent of 1.5 g and an amount of filler of 4 g. The resulting mathematical model can be used as the basis for controlling the surface characteristics of paper during its production.

Keywords: paper, pulp, inner bark of branches, sizing in the mass, rosin glue, mechanical strength, absorbency

For citation. Babakhanova Kh. A., Sadriddinov A. A., Abdiraxmanova D. I., Ismailov I. I., Babakhanova M. A. Hydrophobization and strengthening of cellulose materials from secondary resources. *Vesti Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2022, vol. 58, no. 4, pp. 67–77 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-4-67-77>

Введение. Во всех странах мира одним из актуальных направлений является разработка и развитие ресурсосберегающих технологий по использованию в качестве сырья отходов производства, имеющихся в огромных количествах и не нашедших промышленного применения [1–6].

Экономика Республики Узбекистан является одной из самых крупных в центрально-азиатском регионе. В последние годы она динамично и стабильно развивается и растет. Достаточно отметить, что республика занимает третье место по изготовлению шелка в мире после Китая и Индии. Согласно постановлению Президента Республики Узбекистан от 31.07.2019 г. № ПП-4411 в стране реализуется комплекс мер по дальнейшему развитию шелковой отрасли, расширению видов производимой продукции, а также всесторонней поддержке экспортной и инвестиционной деятельности предприятий шелковой отрасли, для чего выделяются дополнительно более 12 тыс. га земельной площади на создание тутовых плантаций для шелководческих кластеров [7].

Успешное промышленное развитие шелковой промышленности наряду с позитивными результатами порождает серьезные экологические проблемы за счет увеличения объема отходов, а именно веток тутового дерева. Поэтому возникает важная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке технологических процессов с использованием веток тутового дерева после удаления листьев, являющихся источником питания личинок шелкопряда, куколка которого необходима для производства шелка. В Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности ведутся научные работы по получению бумаги из целлюлозной массы внутренней коры веток тутового дерева и комплексному изучению их свойств [8–11].

Печатно-технические свойства, а именно красковосприятие бумаги, в составе которой целлюлозная масса из веток тутового дерева, определены по результатам микроскопического и денситометрического анализов. Выявлено, что данные образцы бумаги можно использовать при современной Ink-jet технологии, но при этом желательнее использовать пигментные чернила, менее требовательные к впитывающей способности бумаги или при способах печати, не использующих маловязкие печатные краски [12].

Для того чтобы бумага была пригодна для печати чернилами любой вязкости, применяют гидрофобизирующие проклеивающие вещества [13, 14]. В качестве таких материалов наиболее эффективным является обычная канифоль из сосновой живицы, что является дефицитом для Республики Узбекистан. В связи с этим поиск альтернативного сырья для получения клея на канифольной основе является актуальным. Поэтому цель работы – повышение показателей качества бумаги из целлюлозной массы веток тутового дерева путем проклейки в массу канифольным клеем, полученным из живицы черешневого дерева.

Экспериментальная часть. Для обеспечения гидрофобности бумаги из целлюлозной массы веток тутового дерева использовали канифольный клей из живицы черешневого дерева. Для достижения цели решались следующие задачи: получали образцы бумаги из целлюлозной массы веток тутового дерева при проклейке в массу канифольным клеем из живицы черешневого дерева; исследовали степень влияния проклеивающего вещества и наполнителя на механические и поверхностные свойства бумаги; для выявления рациональных значений композиционного состава, количества проклеивающего вещества и наполнителя вычисляли математически; изучали свойства бумаги и предложили рекомендации по их применению.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования использовали образцы бумаги из целлюлозной массы внутренней коры веток тутового дерева, свойства которой изучены авторами ранее [8–10].

Исследуемый клей получали из сырой смолы (живицы) черешневого дерева. Затем при температуре 85–95 °С выпаривали для очистки от скипидара и других летучих веществ, которых в сырой смоле 25 %. В полученном без использования химических средств натуральном продукте содержание воды не более 0,5 % при остаточной кислотности последней не более 0,3 %. Проклейку бумажной массы проводили в нейтральной среде при pH 6,5–7,2. В качестве коагулянта использовали сернистый алюминий.

На листоотливном аппарате Rapid-Ketten (фирма ErnstHaage, Германия) по стандартной методике получены бумажные образцы массой 80 ± 2 г/м², в качестве наполнителя использовали каолин (расход – 2, 4, 6 г по отношению к 100 г сухого целлюлозного сырья). Для проклейки

в массе использовали канифольный клей из живицы черешневого дерева и клей из сосновой живицы, взятый для сравнения.

Свойства бумаги исследовали по стандартным методикам: ГОСТ Р ИСО 536-2013 определяли массу, ГОСТ 27015-86 – толщину и плотность. Свойства образцов бумаги приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Свойства проклеенной бумаги из целлюлозной массы внутренней коры веток тутового дерева

Table 1. Properties of sized paper from the pulp of the inner bark of mulberry branches

Номер образца	Добавление в 100 г сухого целлюлозного сырья, г			Масса, г/м ²	Толщина, мм	Плотность, г/см ³
	клей из живицы черешневого дерева	клей из живицы сосны	каолин			
1	1,0	–	2	80	2,980	0,653
2	1,0	–	4	80	3,033	0,660
3	1,0	–	6	78	3,017	0,664
4	1,5	–	2	78	3,020	0,668
5	1,5	–	4	80	2,933	0,668
6	1,5	–	6	81	3,000	0,668
7	2,0	–	2	82	2,980	0,684
8	2,0	–	4	81	3,080	0,680
9	2,0	–	6	81	3,157	0,674
10	–	1,0	2	80	2,930	0,654
11	–	1,0	4	81	3,090	0,670
12	–	1,0	6	79	2,890	0,666
13	–	1,5	2	78	3,080	0,657
14	–	1,5	4	81	3,113	0,660
15	–	1,5	6	81	3,040	0,667
16	–	2,0	2	80	3,047	0,678
17	–	2,0	4	81	3,110	0,670
18	–	2,0	6	80	3,100	0,684

Результаты исследования и их обсуждение. Определяли ГОСТ 13525.1-79 прочность на разрыв при растяжении на вертикальной разрывной машине типа Testometric V 350-5 СТ. Согласно данного метода образец закрепляли в зажимах разрывной машины, не касаясь его испытуемой части, с силой натяжения не более 0,3 Н (0,03 кгс) и определяли усилие, вызывающее разрушение образца и его удлинение до момента разрыва.

Разрывную длину L в метрах вычисляли по следующей формуле:

$$L = \frac{l_0 F}{m},$$

где F – разрушающее усилие, Н; l_0 – номинальное расстояние между зажимами, мм; m – масса образца, г.

Предел прочности при растяжении, σ МПа (кгс/мм), рассчитывали по формуле

$$\sigma = \frac{F}{bn},$$

где b – ширина, мм; h – толщина образца, мм.

Относительная погрешность определения предела прочности при растяжении не превышает $\pm 10\%$ при доверительной вероятности 0,95. Механические свойства образцов бумаги приведены в табл. 2.

В ходе анализа механических свойств образцов бумаги (табл. 2) выявлено, что целесообразно добавление проклеивающего вещества в пределах от 1 до 1,5 г на 100 г сухого целлюлозного сырья, так как увеличение добавки до 2 г способствует уменьшению межволоконных сил связывания на 21 %. Добавление каолина в количестве 6 г влияет на расстояние между волокнами, что уменьшает механические силы сцепления на 12,5 %.

Т а б л и ц а 2. Механические свойства бумаги из целлюлозной массы внутренней коры веток тутового дерева

T a b l e 2. Mechanical properties of pulp paper from the inner bark of mulberry branches

Номер образца	Масса вводимого связующего на 100 г сухого целлюлозного сырья, г			Разрушающее усилие, Н	Разрывная длина, м	Прочность на изгиб	Предел прочности, МПа
	клей		каолин				
	из живицы черешневого дерева	из живицы сосны					
1	1,0	–	2	69	5600	1395	55,667
2	1,0	–	4	64	5200	1192	51,433
3	1,0	–	6	61	4900	1162	48,900
4	1,5	–	2	65	5300	1203	52,200
5	1,5	–	4	62	5000	1045	49,533
6	1,5	–	6	61	4900	1006	48,600
7	2,0	–	2	55	4400	1180	44,300
8	2,0	–	4	51	4100	970	40,767
9	2,0	–	6	50	4000	862	40,300
10	–	1,0	2	69	5600	1394	56,033
11	–	1,0	4	64	5200	1181	51,633
12	–	1,0	6	61	4900	1152	48,733
13	–	1,5	2	65	5300	1205	51,833
14	–	1,5	4	62	5000	1045	49,467
15	–	1,5	6	61	4900	991	48,667
16	–	2,0	2	55	4400	1164	43,833
17	–	2,0	4	51	4100	960	40,633
18	–	2,0	6	50	4000	854	40,167

Для выявления степени влияния проклеивающего вещества и каолина на гидрофобность бумаги определяли поверхностную впитываемость при одностороннем смачивании (ГОСТ 12605-97 (ISO535-91)) по методу Кобб₍₃₀₎, путем определения массы воды (г), поглощенной поверхностью бумаги при смачивании одной стороны испытуемого образца, по следующей формуле:

$$\text{Кобб}_{(30)} = 100 (m_2 - m_1),$$

где m_2 – масса образца после испытания, г; m_1 – масса образца до испытания, г.

Результаты исследований зависимости свойств бумаги от вида проклеивающего вещества и содержания наполнителя приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Зависимость свойств бумаги от вида и содержания проклеивающих веществ и наполнителя

T a b l e 3. Dependence of paper properties on the type and content of sizing agents and fillers

Номер образца	Добавление в 100 г сухого целлюлозного сырья, г			Поверхностная впитываемость, г/м ²	Влажность, %
	клей из живицы черешневого дерева	клей из живицы сосны	каолин		
1	1,0	–	2	40	9,3
2	1,0	–	4	33	9,1
3	1,0	–	6	30	9,0
4	1,5	–	2	31	8,8
5	1,5	–	4	29	8,7
6	1,5	–	6	25	8,6
7	2,0	–	2	28	8,2
8	2,0	–	4	23	7,8
9	2,0	–	6	21	7,7
10	–	1,0	2	41	9,2
11	–	1,0	4	37	9,1
12	–	1,0	6	28	9,0

Окончание табл. 3

Номер образца	Добавление в 100 г сухого целлюлозного сырья, г			Поверхностная впитываемость, г/м ²	Влажность, %
	клей из живицы черешневого дерева	клей из живицы сосны	каолин		
13	–	1,5	2	30	8,8
14	–	1,5	4	28	8,7
15	–	1,5	6	23	8,5
16	–	2,0	2	25	8,1
17	–	2,0	4	21	7,7
18	–	2,0	6	19	7,6

В ходе анализа поверхностных свойств образцов бумаги (табл. 3) выявлена эффективность проклейки от 22,5 до 30 % с увеличением добавления проклеивающего клея, что можно объяснить уплотнением структуры, которая препятствует проникновению водных растворов. Добавление каолина от 2 до 6 г также увеличивает стойкость к воде от 17,5 до 25 %.

На следующем этапе для выявления рациональных параметров с помощью метода математического моделирования получена математическая модель, адекватно описывающая степень зависимости поверхностных свойств от количества проклеивающих веществ и наполнителя. Применяя многофакторное планирование, выделены следующие варьируемые факторы: состав бумажной массы, %; проклеивающее вещество, г; наполнитель, г. Объектом исследования служила бумага из целлюлозной массы внутренней коры веток тутового дерева, а критерием оптимизации \bar{y}_i – поверхностные свойства бумаги, а именно впитывающая способность. Уровни и интервалы варьирования этих факторов представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Основные факторы и уровни варьирования

Table 4. Main factors and levels of variation

Наименование фактора	Обозначения		Уровни варьирования			Интервал варьирования фактора Δ
	натуральный	нормальный	нижний (-) x_{\min}	верхний (+) x_{\max}	основной (0) x_0	
Состав бумажной массы, %	С	x_1	92	96	94	2,0
Проклеивающее вещество, г	П	x_2	1,0	2,0	1,5	0,5
Наполнитель, г	Н	x_3	2,0	6,0	4,0	2,0

Рабочая матрица многофакторного эксперимента 2-го порядка для трехфакторного процесса представлена в табл. 5.

Т а б л и ц а 5. Матрица планирования

Table 5. Planning matrix

Номер опыта	Матрица планирования			Наблюдаемые физические величины				
				значения физических величин (отклики)				
	x_1	x_2	x_3	y_{ui}	Среднее \bar{y}_i	S_u^2	\bar{y}_u	$R_0(\%)$
1	+	+	+	40	40,5	1,0	39,625	2,14
				41				
				39				
2	–	+	+	32	35,0	5,25	34,123	2,57
				31				
				36				
3	+	–	+	28	29,0	0,75	31,309	–7,37
				30				
				32				

Окончание табл. 5

Номер опыта	Матрица планирования			Наблюдаемые физические величины				
				значения физических величин (отклики)				
	x_1	x_2	x_3	y_{ui}	Среднее \bar{y}_i	S_u^2	\bar{y}_u	$R_0(\%)$
4	–	–	+	31	31,0	0,25	33,311	-6,94
				33				
				32				
5	+	+	–	29	28,5	0,25	29,061	-1,93
				28				
				30				
6	–	+	–	25	24,0	3,25	24,559	-2,28
				23				
				27				
7	+	–	–	28	26,5	4,0	25,935	2,18
				30				
				26				
8	–	–	–	22	22,0	0,75	21,433	2,64
				23				
				24				

В соответствии с матрицей планирования проведено 8 опытов в трехкратной повторности. Выполнена статистическая обработка результатов. Сначала определяли ошибки повторных (параллельных) опытов. Среднеквадратичное отклонение находили по формуле:

$$S_i^2 = \frac{\sum_1^n (y_u - \bar{y}_u)^2}{n-1},$$

где \bar{y}_i – среднее арифметическое значение параметра оптимизации трехкратного опыта (значения приведены в табл. 5). Данные расчетов представлены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6. Результаты статистической обработки эксперимента

T a b l e 6. Results of statistical processing of the experiment

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
S_i^2	1,0	5,25	0,75	0,25	0,25	3,25	4,0	0,75
S_i	1,0	2,29	0,87	0,5	0,50	1,80	2,0	0,87

Пример проверки однородности ряда дисперсий во всех вариантах эксперимента с помощью G-критерия Кохрена:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_1^N S_i^2} = \frac{5,25}{15,5} = 0,34,$$

$$G = 0,34 < 0,516 = G_{0,05}.$$

Сравнение с табличным $G_{0,05} \{f_N = N = 8, f_m = m - 1 = 3 - 1 = 2\} = 0,516$ показало, что расчетное значение критерия Кохрена меньше табличной величины, поэтому дисперсия считается однородной, а процесс воспроизводимым.

Уравнение математической модели с учетом парных взаимодействий имеет вид:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Коэффициенты регрессии при полном факторном эксперименте (табл. 7) рассчитаны по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_1^N \hat{y}}{N},$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} \hat{y}}{N},$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \hat{y}}{N},$$

где u – порядковые номера вариантов; i – порядковые номера факторов; (iu) , (ju) , (ku) – условные обозначения сумм.

Т а б л и ц а 7. Рассчитанные коэффициенты регрессии

T a b l e 7. Calculated regression coefficients

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{123}	b_{23}
29,56	1,56	2,44	4,31	0,94	-0,69	0,94	1,44

П р и м е ч а н и е. b_0 – свободный член; b_1, b_2, b_3 – линейные коэффициенты; b_{12}, b_{13}, b_{23} – коэффициенты двойного взаимодействия факторов; b_{123}, \dots – коэффициенты тройного взаимодействия факторов.

Теперь уравнение математической модели имеет следующий вид:

$$\hat{y} = 29,56 + 1,56x_1 + 2,44x_2 + 4,31x_3 + 0,94x_1x_2 - 0,69x_1x_3 + 1,44x_2x_3 + 0,94x_1x_2x_3.$$

Вычисляем теоретические значения параметра оптимизации \hat{y} , величину ошибки $\Delta y = \bar{y} - \hat{y}$, результаты представлены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8. Результаты статистической обработки эксперимента

T a b l e 8. Results of statistical processing of the experiment

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
\bar{y}_i	40,500	35,000	29,000	31,00	28,50	24,0	26,50	22,0
\hat{y}	39,625	34,123	31,309	33,311	29,061	24,559	25,935	21,433
Δy	0,875	0,877	-2,309	-2,311	-0,561	-0,559	0,565	0,567
Δy^2	0,772	0,769	5,331	5,341	0,3140	0,312	0,319	0,321
R_0	2,140	2,570	-7,370	-6,940	-1,930	-2,280	2,180	2,640

Далее по формуле определим следующие относительные величины R_0 расхождения фактических \bar{y}_u и расчетных данных (%) по следующей формуле:

$$R_0 = \frac{\hat{y} - \bar{y}}{y} 100.$$

Рассчитаем дисперсию адекватности

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_1^N \Delta y_i^2}{f},$$

где $f = N - (k + 1)$ – число степеней свободы.

Для проверки адекватности линейной модели по критерию Фишера находим дисперсию неадекватности или остаточную дисперсию, сам критерий Фишера:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2},$$

где S_y^2 – дисперсия воспроизводимости, найденная по формуле

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2 = \frac{1}{N(m-1)} \sum_{u=1}^N \sum_{p=1}^m (\bar{y}_{up} - \bar{y}_u)^2.$$

При уровне значимости $\beta = 0,05$ критерий Фишера $F_{0,05}$ (число степеней свободы дисперсии неадекватности $f_{\text{на}} = N - k - 1 = 8 - 3 - 1 = 4$ и числа степеней свободы $f_y = N(m-1)$) по табличным данным равен 64. Поскольку $F_{\text{расч}} = 0,216 < 6,4 = F_{0,05}$, то с 95 %-ной доверительной вероятностью можно утверждать, что полученное уравнение регрессии является математической моделью исследуемого объекта. Для оценки значимости коэффициентов регрессионного уравнения вычислим доверительные интервалы по формуле:

$$\Delta b = t_{\alpha, N(m-1)} \frac{S_y}{\sqrt{N}},$$

здесь $t_{\alpha, N(m-1)}$ – критерий Стьюдента, числовые значения которого вычисляются по формуле:

$$\Delta b_i = t_{0,05} \{f_y\} \frac{S_y}{\sqrt{N}} = 2,09 \frac{15,5}{\sqrt{8}} = \pm 1,03.$$

Сравнивая значения коэффициентов регрессии с границами доверительных интервалов видим, что коэффициенты b_{12} , b_{13} , b_{123} незначимы.

$$y = 29,56 + 1,56x_1 + 2,44x_2 + 4,31x_3 + 1,44x_2x_3.$$

Переходя от кодированных x_1, x_2, x_3 значений факторов к натуральным, получим зависимость поверхностных свойств, а именно впитывающей способности $V_{\text{спос}}$ бумаги от приведенных факторов. Кодированные значения факторов связаны с натуральными следующими зависимостями:

$$x_1 = \frac{C - C_0}{\varepsilon_1} = \frac{C - 94}{2}; \quad x_2 = \frac{\Pi - \Pi_0}{\varepsilon_2} = \frac{\Pi - 1,5}{0,5}; \quad x_3 = \frac{H - H_0}{\varepsilon_3} = \frac{H - 4}{2},$$

где C_0, Π_0, H_0 – основные уровни факторов в натуральных выражениях; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – интервалы варьирования факторов.

Подставив выражения в уравнение, получим

$$V_{\text{спос}} = 29,56 - 1,56 \frac{C - 94}{2} + 2,44 \frac{\Pi - 1,5}{0,5} + 4,31 \frac{H - 4}{2} + 1,44 \left(2,44 \frac{\Pi - 1,5}{0,5} \cdot 4,31 \frac{H - 4}{2} \right)$$

и после преобразований представим в окончательном виде

$$V_{\text{спос}} = 30,97 + 0,78C - 55,56\Pi - 20,52H - 15,11\Pi H.$$

Это уравнение можно использовать как интерполяционную формулу для вычисления впитывающей способности $V_{\text{спос}}$. Таким образом, при исследовании поверхностных свойств бумаги полученное уравнение можно применить для установления рациональных значений состава бумажной массы, количества проклеивающего вещества и наполнителя (табл. 9).

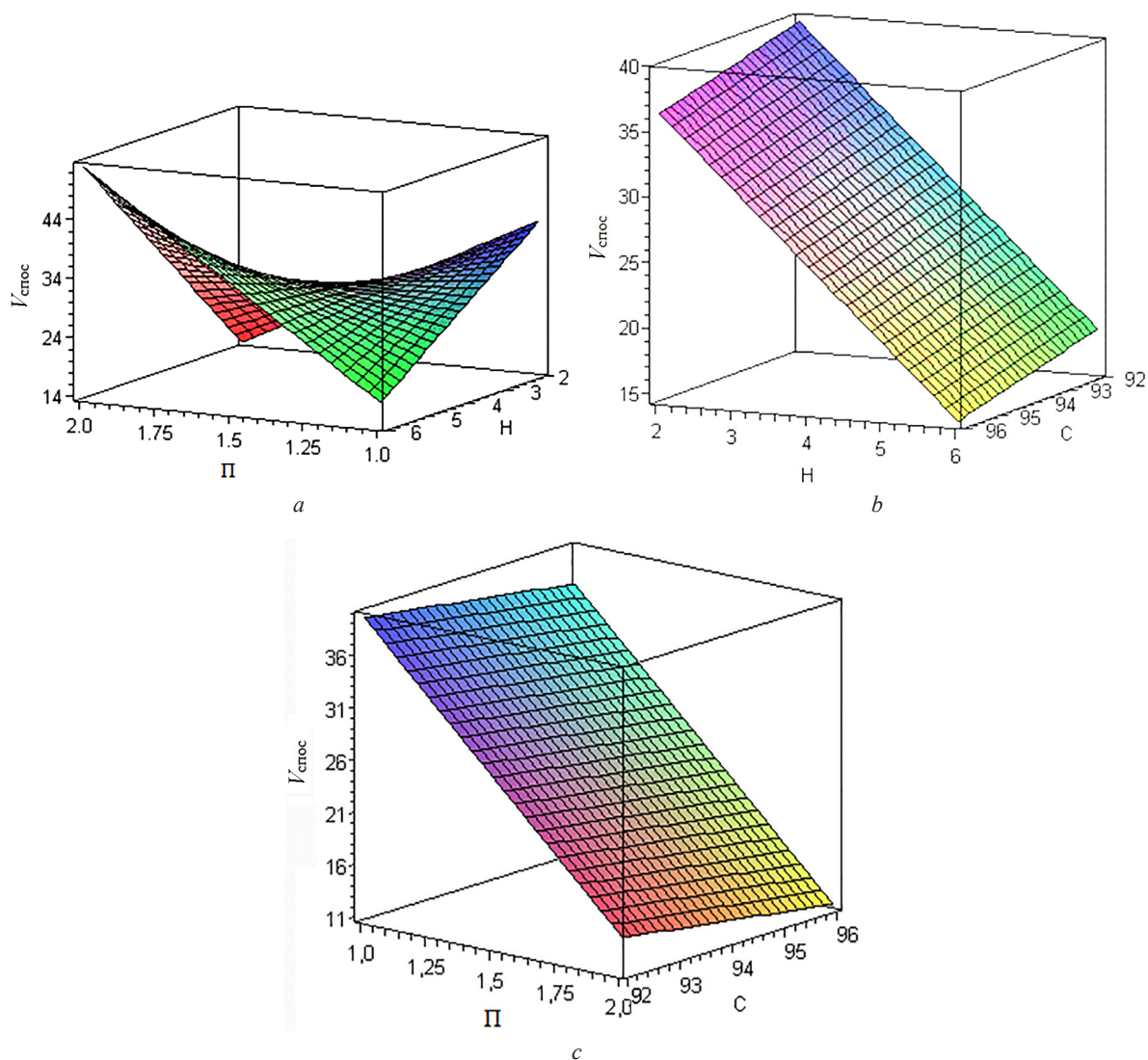
Используя полученное уравнение функции отклика, в программе Maple для оценки влияния состава бумажной массы (С), количества проклеивающего вещества (Π), наполнителя (H) на поверхностные характеристики построены поверхности отклика в трехмерной системе координат (рисунок).

Наглядное представление о влиянии состава бумажной массы С на отклик показана на рисунке, а. Как видно, с ростом значений количества проклеивающего вещества и наполнителя наблюдается уменьшение впитывающей способности, а затем увеличение.

Таблица 9. Изменение впитывающей способности бумаги от состава бумажной массы, количества проклеивающего вещества и наполнителя

Table 9. Change in absorbency of paper depending on the paper pulp composition, amount of sizing agent and filler

С	П	Н	$V_{\text{спос}}$	С	П	Н	$V_{\text{спос}}$
92	1,0	2,0	36,35	96	1,0	2,0	39,47
	1,5	4,0	27,97		1,5	4,0	31,09
	2,0	6,0	49,81		2,0	6,0	52,93
1,0	92	2,0	36,35	2,0	92	2,0	11,01
	94	4,0	27,09		94	4,0	31,97
	96	6,0	17,83		96	6,0	52,93
2	92	1,0	36,35	6	92	1,0	14,71
	94	1,5	25,24		94	1,5	33,82
	96	2,0	14,13		96	2,0	52,93



Зависимость впитывающей способности от технологических параметров отлива при фиксированных значениях:
a – состава бумажной массы, *b* – количества проклеивающего вещества, *c* – количества наполнителя

Dependence of absorbency on technological parameters of casting: *a* – at fixed values of the composition of the paper pulp, *b* – at fixed values of the amount of sizing agent, *c* – at fixed values of the amount of filler

Для рассмотрения влияния факторов состава бумажной массы С и наполнителя Н и их взаимодействия построена поверхность отклика при фиксированных значениях проклеивающего вещества П. Чем больше значения факторов С и Н, тем меньше значения впитывающей способности $V_{\text{спос}}$. Но при больших значениях проклеивающего вещества П влияние как состава, так и количества наполнителя на впитывающую способность возрастает.

График на рисунке, с дает возможность проанализировать взаимодействие факторов С и П. Выявлено, что при увеличении этих значений усиливается влияние наполнителя Н на впитывающую способность.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что рациональные значения впитывающей способности при составе бумажной массы 92 % обеспечиваются при проклеивающем веществе 1,5 г и количестве наполнителя 4 г.

Заключение. Экспериментально выявлено, что целесообразно добавление проклеивающего вещества в пределах от 1 до 1,5 г на 100 г сухого целлюлозного сырья, так как увеличение добавки до 2 г способствует уменьшению межволоконных сил связывания на 21 %. Добавление каолина в количестве 6 г влияет на расстояние между волокнами, что уменьшает механические силы сцепления на 12,5 %. В ходе анализа поверхностных свойств образцов бумаги выявлена эффективность проклейки от 22,5 до 30 % с увеличением добавления проклеивающего клея, что можно объяснить уплотнением структуры, препятствующим проникновению водных растворов. Добавление каолина от 2 до 6 г также увеличивает стойкость к воде от 17,5 до 25 %. С помощью математической модели выявлены рациональные значения впитывающей способности при составе бумажной массы 92 %, при проклеивающем веществе 1,5 г и количестве наполнителя 4 г. Полученная математическая модель может быть положена в основу управления поверхностных характеристик бумаги в процессе ее производства.

Список использованных источников

1. Расширение сырьевой базы при использовании вторичной массы при производстве древесноволокнистых плит / Н. А. Петрушева [и др.] // Проблемы экологии и развития городов. – Красноярск, 2001. – С. 227–232.
2. Кулешов, А. В. Бумагообразующие свойства вторичных растительных волокон / А. В. Кулешов, А. С. Смолин // Химия раст. сырья. – 2008. – № 2. – С. 109–112.
3. Вураско, А. В. Ресурсосберегающая технология получения целлюлозы при переработке отходов сельскохозяйственных культур / А. В. Вураско, А. Р. Галимова (Минакова), Б. Н. Дрикер // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2007. – № 1. – С. 16–19.
4. Бабаханова, Х. А. Использование фармоотходов в бумажной отрасли Республики Узбекистан / Х. А. Бабаханова, З. К. Галимова, М. М. Абдуназаров // Химия раст. сырья. – 2020. – № 3. – С. 285–290. <https://doi.org/10.14258/Jcrpm.2020037298>
5. Петрушева, Н. А. Математическая модель процесса обработки вторичного волокна в производстве древесноволокнистых плит / Н. А. Петрушева, Ю. Д. Алашкевич, Н. Г. Чистова // Химия раст. сырья. – 2002. – № 4. – С. 49–53.
6. Поверхностные и оптические свойства бумаги из карбоната кальция / Х. А. Бабаханова [и др.] // Вес. Нац. акад. наук. Сер. хим. наук. – 2021. – № 4. – С. 473–480. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-473-480>
7. О дополнительных мерах по развитию кормовой базы тутового шелкопряда в шелководческой отрасли [Электронный ресурс] : постановление Президента Респ. Узбекистан № ПП-4567, 17.01.2020. – Режим доступа: <https://lex.uz/docs/4456802>. – Дата доступа: 17.02.2020.
8. Свойства бумаги, в составе которой целлюлозная масса из веток тута / Х. А. Бабаханова [и др.] // Высшая школа: научные исследования : Материалы Межвузовского научного конгресса, Москва, 30 апреля 2020 года. – М.: Инфинити, 2020. – С. 118–122.
9. Структура бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутового дерева / Х. А. Бабаханова [и др.] // Химия раст. сырья. – 2020. – № 4. – С. 261–266. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2020047761>
10. Целлюлозная масса из коры веток тутовника для бумажной отрасли / Х. А. Бабаханова [и др.] // Лесной журн. – 2020. – № 5. – С. 193–200. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-193-200>
11. Исследование микрогеометрии поверхности бумаги из коры веток тутовника / Х. А. Бабаханова [и др.] // Лесной вестн. – 2022. – № 1. – С. 84–90. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-1-84-90>
12. Исследование красковосприятости бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутовника / Х. А. Бабаханова [и др.] // Лесной вестн. – 2021. – Т. 25, № 5. – С. 97–105. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-5-97-105>
13. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов / Э. Р. Муллина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 250.
14. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами / А. А. Остапенко [и др.] // Химия раст. сырья. – 2012. – № 1. – С. 187–190.

References

1. Petrusheva N. A., Alashkevich Yu. D., Chistova N. G., Zaripov Z. Z. Expansion of the raw material base when using recycled pulp in the production of fibreboard. *Problems of ecology and urban development*. Krasnoyarsk, 2001, pp. 227–232 (in Russian).
2. Kuleshov A. V., Smolin A. C. Paper-forming properties of recycled plant fibers. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2008, no. 2, pp. 109–112 (in Russian).
3. Vurasko A.V., Galimova (Minakova) A. R., Driker B. N. Resource-saving technology for the production of cellulose in the processing of crop waste. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2007, no. 1, pp. 16–19 (in Russian).
4. Babakhanova Kh. A., Galimova Z. K., Abdunazarov M. M. Use of pharmaceutical waste in paper industry of the Republic of Uzbekistan. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2020, no. 3, pp. 285–290. <https://doi.org/10.14258/Jcprm.2020037298> (in Russian).
5. Petrusheva N. A., Alashkevich Yu. D., Chistova N. G. Mathematical model of the processing of recycled fiber in the production of fibreboard. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2002, no. 4, pp. 49–53 (in Russian).
6. Babakhanova Kh. A., Ismailov I. I., Sadridinov A. A., Babakhanova M. A., Saidova D. Sh. Surface and Optical Properties of Calcium Carbonate Paper. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series*, 2021, vol. 57, no. 4, pp. 473–480 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-473-480>
7. On additional measures to develop the fodder base of the silkworm in the sericulture industry. Decision of the President of the Republic of Uzbekistan № 4567 from 17.01.2020. Available at: <https://lex.uz/docs/4456802> (in Russian).
8. Babakhanova Kh. A., Galimova Z. K., Abdunazarov M. M., Ismailov I. I. Properties of paper containing pulp from mulberry branches. *Vyssshaya shkola: nauchnye issledovaniya : Materialy Mezhvuzovskogo nauchnogo kongressa, Moskva, 30 aprelya 2020 goda* [Graduate School: Scientific Research. Materials of the Interuniversity Scientific Congress, Moscow, April 30, 2020]. Moscow, Infiniti Publ., pp. 118–122 (in Russian).
9. Babakhanova Kh. A., Galimova Z. K., Abdunazarov M. M., Ismailov I. I. Texture of paper with the addition of cellulose pulp from the bark of mulberry tree branches. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2020, no. 4, pp. 261–266 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047761>.
10. Babakhanova H. A., Galimova Z. K., Abdunazarov M. M., Ismailov I. I. Pulp mass from the bark of mulberry branches for the paper industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal = Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2020, no. 5, pp. 193–200 (in Russian). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-193-200>
11. Babakhanova Kh. A., Galimova Z. K., Sadridinov A. A., Ismailov I. I. Study of the microgeometry of the surface of paper from the bark of mulberry branches. *Lesnoy vestnik = Forestry bulletin*, 2022, no. 1, pp. 84–90 (in Russian). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-1-84-90>
12. Babakhanova Kh. A., Galimova Z. K., Abdunazarov M. M., Ismailov I. I. Study of ink perception of paper with the addition of pulp from the bark of mulberry branches. *Lesnoy vestnik = Forestry bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 97–105 (in Russian). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-5-97-105>
13. Mullina E. R., Mishurina O. A., Chuprova L. V., Ershova O. V. Influence of sizing compounds chemistry on hydrophilic and hydrophobic properties of cellulosic materials. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*, 2014, no. 6, pp. 250 (in Russian).
14. Ostapenko A. A., Moroz V. N., Barbash V. A., Kozhevnikov S. Yu., Dubovy V. K., Koverninskiy I. N. Improving the quality of paper from waste paper with chemical functional substances. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2012, no. 1, pp. 187–190 (in Russian).

Информация об авторах

Бабаханова Халима Абишевна – д-р техн. наук, профессор. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (ул. Шохжахон, 5, 100100, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: halima300@inbox.ru

Садриддинов Акмал Абдулло угли – докторант. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (ул. Шохжахон, 5, 100100, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: sadriddinovakmal0777@mail.ru

Абдирахманова Доно Икрамовна – докторант. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (ул. Шохжахон, 5, 100100, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: donoabdiraxmanova@mail.ru

Исмаилов Икромжон Иброхим угли – докторант. Наманганский технологический институт (ул. Касансай, 7, 160115, Наманган, Республика Узбекистан). E-mail: ikromzhon.ismailov@bk.ru

Бабаханова Мадина Авазовна – д-р хим. наук. Ташкентский государственный технический университет ГУП «Фан ва тараккиет» (ул. Мирзо Голиб, 7а, 100174, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: madina89@mail.ru

Information about the authors

Babakhanova Khalima Ab. – D. Sc. (Engineering), Professor. Tashkent Institute of Textile and Light Industry (5, Shokhjakhon str., 100100, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: halima300@inbox.ru

Sadriddinov Akmal Ab. – Doctoral Student. Tashkent Institute of Textile and Light Industry (5, Shokhjakhon str., 100100, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: sadriddinovakmal0777@mail.ru

Abdiraxmanova Dono I. – Doctoral Student. Tashkent Institute of Textile and Light Industry (5, Shokhjakhon str., 100100, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: donoabdiraxmanova@mail.ru

Ismailov Ikromjon Ib. – Doctoral Student. Namangan Technological Institute (7, Kasansay str., 160115, Namangan, Republic of Uzbekistan). E-mail: ikromzhon.ismailov@bk.ru

Babakhanova Madina Av. – Ph. D. (Chemistry), Tashkent State Technical University State Unitary Enterprise “Fan va tarakkiet” (7a, Mirzo Golib str., 100174, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: madina89@mail.ru