

УДК 676.262.014

**Н. В. Черная, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, С. В. Карпова, О. А. Мисюров**  
Белорусский государственный технологический университет

**РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ПРОЦЕССНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ  
В ТЕХНОЛОГИИ КЛЕЕННЫХ И МЕЛОВАННЫХ ВИДОВ БУМАГИ**

В технологии клееных видов бумаги эффективность применения функциональных (проклеивающих) и процессных (электролитов и катионных полиэлектролитов) веществ возрастает в 1,5 раза за счет смещения процесса проклейки из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции и обеспечения последовательного протекания процессов коагуляции, пептизации, проклейки, упрочнения и флокуляции. Разработанный способ основан на использовании последовательности проклеивающее вещество (1,00 ч.) – катионный полиэлектролит (0,05–0,06 ч.) – электролит (0,08 ч.), в то время как по существующей технологии используется другая последовательность (проклеивающее вещество (1,00 ч.) – электролит (3,00 ч.) – катионный полиэлектролит (0,16–0,26 ч.)). Практическое использование разработанного способа способствует улучшению бумагообразующих и структурообразующих свойств проклеенных волокнистых суспензий и повышению качества получаемых из них клееных видов бумаги, о чем свидетельствуют увеличение гидрофобности в 1,4–1,5 раза, прочности в 1,3–2,0 раза и влагонепроницаемости в 3,5–3,7 раза. В технологии мелованных видов бумаги повышение эффективности применения функциональных (пигментирующих и связующих) и процессных (диспергаторов, антисептиков, пеногасителей и др.) химических веществ обеспечивается заменой в меловальных пастах «проблемных» природных связующих (3 вида – 4,7 мас. ч.) на одно новое синтетическое соединение (модифицированный карбамидоформальдегидный олигомер – 3,2 мас. ч.). Дополнительные азотсодержащие группы усиливают адгезионные взаимодействия пигментирующих частиц с гидрофобной поверхностью бумаги. Следствием этого является повышение печатных свойств мелованной бумаги на 3–9%.

**Ключевые слова:** проклеивающее вещество, электролит, катионный полиэлектролит, синтетическое связующее.

**Для цитирования:** Черная Н. В., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Карпова С. В., Мисюров О. А. Разработка способов повышения эффективности применения функциональных и процессных химических веществ в технологии клееных и мелованных видов бумаги // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 1 (253) С. 11–19.

**N. V. Chernaya, Zh. S. Shashok, E. P. Uss, S. V. Karpova, O. A. Misyurov**  
Belarusian State Technological University

**DEVELOPMENT OF WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY  
OF APPLICATION FUNCTIONAL AND PROCESS CHEMICALS  
IN THE TECHNOLOGY OF GLUED AND COATED TYPES OF PAPER**

In the technology of glued types of paper, the efficiency of using functional (sizing agents) and process (electrolytes and cationic polyelectrolytes) substances increases by 1.5 times due to the shift of the gluing process from the traditional homocoagulation mode to a more efficient heteroadagulation mode and ensuring a consistent course of processes coagulation, peptization, sizing, hardening and flocculation. The developed method is based on the use of a sequence of sizing agent (1.00 parts by weight) – cationic polyelectrolyte (0.05–0.06 parts by weight) – electrolyte (0.08 parts by weight), while the existing technology uses a different sequence is used (sizing agent (1.00 parts by weight): electrolyte (3.00 parts by weight): cationic polyelectrolyte (0.16–0.26 parts by weight)). Practical use of the developed method improves the paper- and structure-forming properties of glued fibrous suspensions and improves the quality of the glue types of paper obtained from them, as evidenced by an increase in hydrophobicity by 1.4–1.5 times, strength by 1.3–2.0 times and moisture resistance 3.5–3.7 times. In the technology of coated types of paper, an increase in the efficiency of using functional (pigmenting and binders) and process (dispersants, antiseptics, defoamers, etc.) chemicals is provided by replacing “problem” natural binders in coating pastes (3 types – 4.7 parts by weight) for one new synthetic compound (modified urea-formaldehyde oligomer – 3.2 parts by weight). Additional nitrogen-containing groups enhance the adhesion interactions of the pigment particles with the hydrophobic surface of the paper. The consequence of this is an increase in the printability of coated paper by 3–9%.

**Key words:** sizing agent, electrolyte, cationic polyelectrolyte, synthetic binder.

**For citation:** Chernaya N. V., Shashok Zh. S., Uss E. P., Karpova S. V., Misyurov O. A. Development of ways to increase the efficiency of application functional and process chemicals in the technology of glued and coated types of paper. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 1 (253), pp. 11–19 (In Russian).

**Введение.** Высоким потребителем спросом пользуются клееные и мелованные виды бумаги [1], отличающиеся свойствами и областью применения. Их качество зависит от многих технологических факторов [2], среди которых особое значение имеют композиционный состав бумаги по волокну, а также вид, расход и способ применения функциональных и процессных химических веществ [3–8]. При получении широкого ассортимента клееных видов бумаги обязательными компонентами являются различные виды проклеивающих веществ, электролитов и катионных полиэлектролитов, а в технологии мелования – связующие. Проклеивающие вещества и связующие оказывают функциональное действие на гидрофобность и печатные свойства бумаги, а электролиты и катионные полиэлектролиты относятся к процессным веществам, поскольку влияют на процессы коагуляции и флокуляции соответственно.

Существующая технология получения клееных видов бумаги основана на введении в волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные) химических веществ в последовательности проклеивающее вещество – электролит – катионный полиэлектролит. После введения двух первых веществ образуются положительно заряженные проклеивающие комплексы [9, 10]; этому способствуют коллоидно-химические взаимодействия, протекающие между частицами дисперсной фазы проклеивающего вещества и положительно заряженными формами гидроксо соединений алюминия, введенными в волокнистую суспензию с раствором электролита [9]. Проклеивающие комплексы адсорбируются на отрицательно заряженных центрах (гидроксильных группах) волокон полностью или частично. В зависимости от соотношения проклеивающее вещество : электролит образуются различные проклеивающие комплексы (коагуломы, коагуляты или пептизированные частицы) [9, 10]; степень их удержания в структуре бумаги зависит от структуры, дисперсности и электрокинетического потенциала. Последующее добавление в проклеенную волокнистую суспензию катионного полиэлектролита обеспечивает протекание процесса флокуляции [11–20], благодаря которому повышается степень удержания волокон в структуре бумаги от 94 до 97%. Дальнейшая термическая обработка бумаги при 115–120°C приводит к плавлению и спеканию проклеивающих комплексов и образованию на

поверхности волокон гидрофобного слоя в виде пленки [10]. Равномерность и толщина этой пленки влияет на процесс связеобразования в структуре бумаги и, следовательно, на ее прочность.

Однако в научной и технической литературе отсутствует информация о влиянии последовательности введения химических веществ в волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные) на степень удержания компонентов бумажной массы (волокон и проклеивающих комплексов) в структуре бумаги и на ее качество (гидрофобность и прочность). Поэтому нерешенной научной проблемой остается проблема одновременного повышения эффективности процессов проклейки, упрочнения и флокуляции, что не позволяет улучшить качество бумаги и уменьшить безвозвратные потери компонентов бумажной массы.

К перспективным способам комплексного решения существующей проблемы относятся, по нашему мнению, способы, основанные, в первую очередь, на изменении способов введения в волокнистую суспензию химических веществ и, во-вторых, на коррекции их расходов (в особенности катионного полиэлектролита).

Бумага приобретает печатные свойства после мелования ее гидрофобной поверхности. Рецептуры используемых меловальных паст являются стандартными [21]. В их состав входят пигменты (1–2 соединения), диспергаторы (1–2 соединения), связующие (3 природных и 1 синтетическое) и вспомогательные вещества (6–9 соединений). Связующие вещества играют важную роль в адгезионных взаимодействиях частиц пигментов между собой и с поверхностью бумаги. Характер этих взаимодействий оказывает доминирующее влияние на печатные свойства мелованной продукции (в особенности на основной показатель – стойкость поверхности к выщипыванию). Неоднократные попытки исследователей заменить «проблемные» природные связующие на синтетические приводили к удорожанию мелованного покрытия и, следовательно, повышению себестоимости печатной продукции, что сдерживало практическое применение новых соединений.

К перспективным синтетическим связующим относится, по нашему мнению, впервые синтезированный нами модифицированный карбамидоформальдегидный олигомер [22], отличающийся от известных аналогов повышенным содержанием азотсодержащих (аминных и амидных) групп и улучшенными физико-химическими и адгезионными свойствами [23].

Отсутствие в научной и технической литературе информации о влиянии способов применения функциональных и процессных химических веществ в технологии клееных и мелованных видов бумаги на их качество (гидрофобность, прочность и печатные свойства) обуславливает актуальность настоящей работы с научной и практической точек зрения.

**Основная часть.** Цель работы – изучение влияния способов применения функциональных и процессных химических веществ на гидрофобность, прочность и печатные свойства бумаги и картона.

Предметами исследования являлись процессы проклейки, упрочнения и флокуляции, протекающие при получении клееных видов бумаги и картона, а также адгезионные взаимодействия, происходящие при изготовлении мелованной продукции.

Объектами исследования являлись клееные и мелованные образцы бумаги и картона, отличающиеся составом и свойствами.

Исследования проводили в два этапа. На первом этапе изучали влияние способов применения проклеивающего вещества, электролита и катионного полиэлектролита на степень удержания компонентов бумажной массы (волокон и проклеивающих комплексов) и качество образцов клееной бумаги, которое характеризовали гидрофобностью, прочностью и влагопрочностью. На втором этапе изготавливали образцы мелованной бумаги, для получения которых в рецептуре меловальной пасты заменяли три стандартных природных связующих на одно новое синтетическое; виды и содержание остальных компонентов (пигментов, диспергатора, каучукового латекса (синтетического связующего) и вспомогательных веществ) соответствовали стандартным рецептурам [21].

*Первый этап.* Для получения образцов клееной бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$ ) использовали первичный (целлюлозу по ГОСТ 9571–89) и вторичный (макулатуру по ГОСТ 10700–89) волокнистые полуфабрикаты, из которых получали 1%-ные волокнистые суспензии со степенью помола  $40 \pm 2^\circ\text{ШР}$ . В волокнистую суспензию добавляли химические вещества по трем способам:

- способ 1: проклеивающее вещество – электролит – катионный полиэлектролит;
- способ 2: катионный полиэлектролит – проклеивающее вещество – электролит;
- способ 3: проклеивающее вещество – катионный полиэлектролит – электролит.

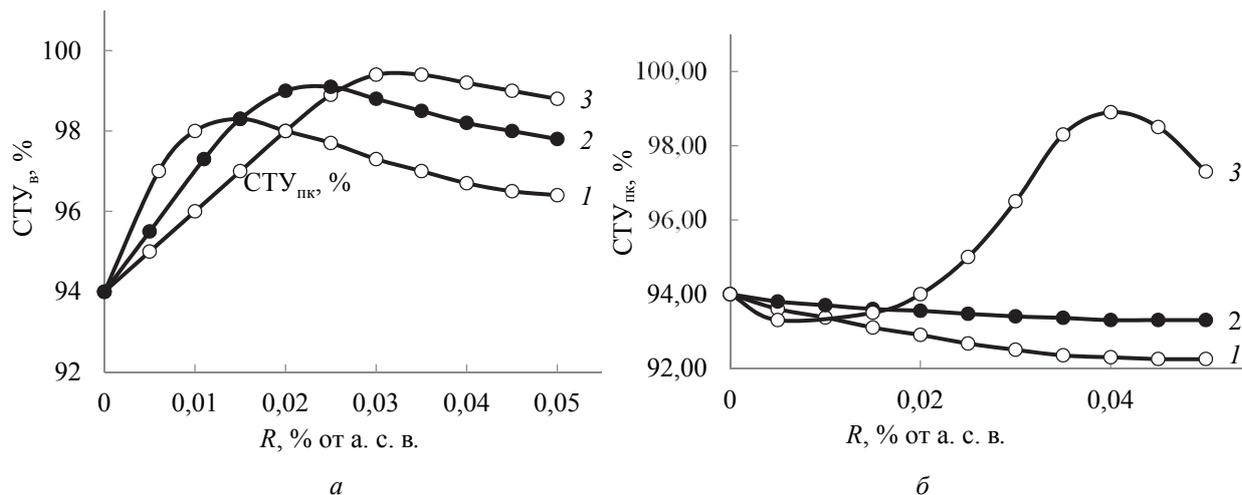
Способ 1 относился к существующей технологии, а способы 2 и 3 – к исследуемым технологиям.

В качестве функционального химического вещества применяли 2%-ную высокосмоляную канифольную эмульсию. Ее получали разбавлением водой товарного пастообразного продукта

ТМВС-2Н (ТУ РБ 00280198-029–97), полученного на основе талловой канифоли и содержащего смоляные кислоты, модифицированные моноэфирами малеинового ангидрида и высших алифатических *n*-спиртов фракции С12–С18. Расход проклеивающего вещества был постоянным и составлял 0,30% от абсолютно сухого волокна. В качестве процессных химических веществ применяли 0,5%-ный раствор электролита (сульфата алюминия по ГОСТ 12966–85) и 0,001%-ный раствор катионного полиэлектролита (товарного продукта ВПК-402 по ТУ 2227-184-00203312–98, представляющего собой полидиметилдиаллил-аммоний хлорид). Расход электролита был постоянным и составлял 0,24% от абсолютно сухого волокна. Расход катионного полиэлектролита (*R*) увеличивали от 0,005 до 0,050% от абсолютно сухого волокна (а. с. в.).

Из проклеенных волоконистых (макулатурных и целлюлозных) суспензий изготавливали образцы бумаги и ЭСК на листоотливном аппарате Rapid-Ketten (Ernst Haag, Германия). Степень удержания волокон ( $\text{СТУ}_в$ ) и проклеивающих комплексов ( $\text{СТУ}_{\text{пк}}$ ) в структуре образцов бумаги определяли по ГОСТ 30578–89 (ISO 9562–89) и с использованием метода экстрагирования в этиловом спирте [24] соответственно. Для определения содержания сухих веществ в подсеточной воде *C*, мг/л, использовали ГОСТ 14363.5–71. Качество образцов клееной бумаги характеризовали гидрофобностью ( $Y_1$  – впитываемость при одностороннем смачивании (ГОСТ 12606-82E),  $\text{г/м}^2$ ;  $Y_2$  – степень проклейки по штриховому методу (ГОСТ 8049–62), мм), прочностью ( $Y_3$  – разрывная длина (ISO 1924/24), м) и  $Y_4$  – влагопрочностью (ГОСТ 13525.7–68), %.

На рисунке ниже представлены зависимости  $\text{СТУ}_в = f(R)$  (а) и  $\text{СТУ}_{\text{пк}} = f(R)$  (б) при введении химических веществ в макулатурную суспензию по существующей (кривые 1) и двум исследуемым (кривые 2 и 3) технологиям. Аналогичные зависимости получены для проклеенных целлюлозных суспензий; отличие состояло в увеличении числовых значений  $\text{СТУ}_в$  и  $\text{СТУ}_{\text{пк}}$  на 0,5 и 0,8% соответственно. Из рисунка видно, что наиболее эффективным является исследуемый способ 3. Его применение позволяет обеспечить максимальные значения  $\text{СТУ}_в$  и  $\text{СТУ}_{\text{пк}}$ , достигающие 99,6 и 98,5% соответственно; при этом предпочтительный расход катионного полиэлектролита составляет 0,35–0,40% от а. с. в. Исследуемый способ 2 является менее эффективным, чем способ 3; об этом свидетельствует снижение степени удержания компонентов бумажной массы: для волокна на 0,6% ( $\text{СТУ}_в = 99,0\%$ ) и для проклеивающих комплексов на 5,0% ( $\text{СТУ}_{\text{пк}} = 93,5\%$ ). Способ 1 (существующая технология) уступает исследуемым способам 2 и 3.



1 – способ 1; 2 – способ 2; 3 – способ 3

Зависимости  $СТУ_в = f(R)$  (а) и  $СТУ_пк = f(R)$  (б)  
при изменении способов использования химических веществ

Установлена упорядоченная последовательность способов применения химических веществ по их эффективности: способ 3 > способ 2 > способ 1. Поэтому к практическому использованию можно рекомендовать способ 3, когда осуществляется введение химических веществ в волокнистую суспензию по последовательности проклеивающее вещество – катионный полиэлектролит – электролит.

Установлено, что способы введения химических веществ в волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные) влияют на характер протекающих процессов следующим образом:

– способ 1 – сначала образуются крупнодисперсные проклеивающие комплексы (процесс проклейки в режиме гомокоагуляции), а затем происходит процесс флокуляции;

– способ 2 – сначала протекает процесс флокуляции, а затем образуются крупнодисперсные проклеивающие комплексы (процесс проклейки в режиме гомокоагуляции);

– способ 3 – сначала формируются пептизирующиеся коагуляты, которые дезагрегируются с образованием новых проклеивающих комплексов в виде мелкодисперсных пептизированных частиц (процесс проклейки протекает в режиме гетероадагуляции), а затем протекает процесс флокуляции.

В таблице приведены данные, позволяющие сравнить эффективность трех способов применения функциональных и процессных химических веществ при изготовлении образцов клееной бумаги из макулатуры (числитель) и целлюлозы (знаменатель).

Результаты исследования свидетельствуют о существенном влиянии способов применения функциональных и процессных химических веществ на свойства проклеенных волокнистых

суспензий (целлюлозных и макулатурных) и качество полученных из них образцов бумаги. Выявлено, что применение катионного полиэлектролита является целесообразным и даже необходимым. Его присутствие в проклеенной волокнистой суспензии способствует заметному улучшению свойств волокнистых суспензий и качества полученных из них образцов клееной бумаги.

Установлено, что одним из основных условий эффективного применения катионного полиэлектролита является его расход  $R$  (рисунок). При рекомендуемых его расходах, как видно из рисунка и таблицы, составляющих 0,011–0,015% от а. с. в. для способа 1, 0,022–0,030% от а. с. в. для способа 2 и 0,015–0,020% от а. с. в. для способа 3, рН проклеенной волокнистой суспензии находится в диапазоне 6,4–7,1, что соответствует современной тенденции развития технологии бумаги по смещению процесса проклейки из кислой области в нейтральную. Кроме того, снижается содержание сухих веществ в подсеточной воде  $C$  от 8,8–11,8 до 1,9–7,5 мг/л за счет повышения степени удержания в структуре бумаги волокон  $СТУ_в$  от 94,4–96,8 до 98,4–99,8% и проклеивающих комплексов  $C$  от 8,8–11,8 до 1,9–7,5 мг/л за счет повышения степени удержания в структуре бумаги волокон  $СТУ_пк$  от 94,0–94,8 до 98,8–99,2%. Важно отметить, что по существующей технологии применения катионного полиэлектролита, когда используют способ 1 (проклеивающее вещество – электролит – катионный полиэлектролит), его расход превышает 0,050% от а. с. в., в то время как рекомендуемый его расход находится в диапазоне 0,011–0,015% от а. с. в. Однако качество бумаги, полученной по способу 1, уступает качеству бумаги, полученной по способу 3.

**Сравнение способов применения химических веществ  
в макулатурных (числитель) и целлюлозных (знаменатель) суспензиях**

Номер способа	Волокнистая суспензия					Качество образцов клееной бумаги			
	R, % от а. с. в.	Свойства				Гидрофобность		Прочность Y <sub>3</sub> , м	Влагопрочность Y <sub>4</sub> , %
		pH	C, мг/л	СТУ <sub>в</sub> , %	СТУ <sub>пк</sub> , %	Y <sub>1</sub> , г/м <sup>2</sup>	Y <sub>2</sub> , мм		
Способ 1	<u>0,015</u> 0,011	<u>7,1</u> 6,9	<u>7,5</u> 7,2	<u>98,4</u> 99,2	<u>93,5</u> 94,4	<u>39</u> 30	<u>1,0</u> 1,2	<u>4050</u> 5350	<u>7,5</u> 9,8
Способ 2	<u>0,030</u> 0,022	<u>6,6</u> 6,4	<u>2,8</u> 2,0	<u>99,5</u> 99,8	<u>92,2</u> 93,8	<u>24</u> 20	<u>1,6</u> 1,8	<u>4800</u> 6000	<u>5,0</u> 6,6
Способ 3	<u>0,020</u> 0,015	<u>6,9</u> 6,6	<u>2,7</u> 1,9	<u>99,0</u> 99,5	<u>98,8</u> 99,2	<u>20</u> 16	<u>1,8</u> 2,2	<u>5150</u> 6340	<u>8,8</u> 12,4
Образец сравнения	–	<u>7,3</u> 7,0	<u>11,8</u> 8,6	<u>94,4</u> 96,8	<u>94,0</u> 94,8	<u>29</u> 24	<u>1,2</u> 1,4	<u>2550</u> 4980	<u>2,5</u> 3,4

*Примечание.* Использованы следующие условные обозначения: R – рекомендуемый расход катионного полиэлектролита, % от а. с. в.; pH – значение pH проклеенной бумажной массы перед получением из нее образцов бумаги; C – содержание сухих веществ (волокон и проклеивающих комплексов) в подсеточной воде, мг/л; Y<sub>1</sub> – впитываемость при одностороннем смачивании, г/м<sup>2</sup>; Y<sub>2</sub> – степень проклейки по штриховому методу, мм; Y<sub>3</sub> – разрывная длина, м; Y<sub>4</sub> – влагопрочность, %.

Повышению эффективности применения катионного полиэлектролита при одновременном снижении его расхода от 0,050 до 0,015–0,020% от а. с. в. (в 2,5–3,3 раза) способствует изменение последовательности применения функциональных и процессных химических веществ. Поэтому предлагаемый способ 3 (проклеивающее вещество – катионный полиэлектролит – электролит) является более эффективным, чем существующие способы 1 и 2 даже при рекомендуемых расходах катионного полиэлектролита, о чем свидетельствуют результаты исследования, представленные на рисунке и в таблице.

Обращает на себя внимание способ 3, применение которого способствует заметному улучшению качества образцов клееной бумаги по комплексу показателей гидрофобность (Y<sub>1</sub> и Y<sub>2</sub>) – прочность (Y<sub>3</sub>) – влагопрочность (Y<sub>4</sub>). Об этом свидетельствуют следующие факты:

- повышается гидрофобность бумаги в 1,4–1,5 раза;
- снижается впитываемость при одностороннем смачивании Y<sub>1</sub> от 24–29 до 16–20 г/м<sup>2</sup>;
- повышается степень проклейки по штриховому методу Y<sub>2</sub> от 1,2–1,4 до 1,8–2,2 мм;
- увеличивается разрывная длина Y<sub>3</sub> от 2550–4980 до 5150–6340 м (в 1,3–2,0 раза);
- возрастает влагопрочность Y<sub>4</sub> от 2,5–3,4 до 8,8–12,4% (в 3,5–3,7 раза).

Обнаруженные положительные эффекты можно объяснить смещением процесса проклейки волокнистых суспензий из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции и одновременным участием катионного полиэлектролита в двух процессах: сначала в новом процессе пептизации, а затем в традиционном процессе флокуляции.

Следовательно, повышению эффективности применения функциональных и процессных химических веществ в 1,3 раза и более способствует изменение последовательности их введения в волокнистые суспензии. Их расходы должны быть достаточными для того, чтобы обеспечить протекание процессов коагуляции, пептизации, проклейки, упрочнения и флокуляции. Избыточные расходы химических веществ препятствуют осуществлению тех или иных процессов, что не позволяет получить, во-первых, проклеенные волокнистые суспензии с улучшенными бумагообразующими и структурообразующими свойствами и, во-вторых, высококачественную бумагу, обладающую одновременно высокой гидрофобностью, прочностью и влагопрочностью. К практическому использованию рекомендуется способ 3 (проклеивающее вещество – катионный полиэлектролит (расход 0,015–0,020% от а. с. в.) – электролит), эффективность которого в 1,5 раза выше, чем существующего способа (проклеивающее вещество – электролит – катионный полиэлектролит (расход 0,050–0,080% от а. с. в.)). Рекомендуемое по способу 3 соотношение проклеивающее вещество : катионный полиэлектролит : электролит составляет 1,00 ч. : 0,05–0,06 ч. : 0,80 ч., в то время как по существующей технологии используют другую последовательность и соотношение химических веществ (проклеивающее вещество (1,00 ч.) : электролит (3,00 ч.) : катионный полиэлектролит (0,16–0,26 ч.)).

*Второй этап.* Образцы мелованной бумаги получали на моделирующей установке (Германия), оснащенной регулируемыми наносящими устройствами и системой обогрева. Для этого готовили меловальные пасты двух видов: 1) по предлагаемой

технологии – с использованием 3,2 мас. ч. одного синтетического связующего [22] в виде нового модифицированного карбамидоформальдегидного олигомера; 2) по существующей технологии – с применением комплекса природных соединений (4,7 мас. ч.) [21], включающего окисленный крахмал (2,0 мас. ч.), натрийкарбоксиметилцеллюлозу (0,7 мас. ч.) и казеиновый клей (2,0 мас. ч.). Затем меловальные пасты наносили на гидрофобную поверхность или поверхность образцов бумаги, полученных при выполнении первого этапа исследования по предлагаемому способу 3 и по существующей технологии. Для полученных образцов мелованной бумаги определяли массовую по ISO 536–1995, толщину по ISO 534–2005, белизну по ISO 2470–1999, гладкость по ISO 8791-4–1992 и стойкостью поверхности к выщипыванию по ISO 3783–1980. Образцами сравнения являлись пробы отобранных промышленных партий мелованной бумаги марок ДО (ГОСТ 21444–75) и ДЧ (ГОСТ 9095–89).

Установлено, что печатные свойства мелованных образцов бумаги, полученных по предлагаемой технологии, соответствуют регламентируемым значениям: белизна – 85–87% (норма – не менее 85%), стойкость поверхности к выщипыванию – 2,2–2,4 см (норма – не менее 2,2 см) и гладкость – 254–280 с (норма – не менее 250 с). При этом их качество превышает, во-первых, качество образцов, полученных по существующей технологии, на 5–9% и, во-вторых, качество промышленных образцов на 3–6%.

Следовательно, замена 4,7 мас. ч. природных связующих (окисленного крахмала (2,0 мас. ч.), натрийкарбоксиметилцеллюлозы (0,7 мас. ч.) и казеинового клея (2,0 мас. ч.)) на одно новое синтетическое соединение (3,2 мас. ч. модифицированного карбамидоформальдегидного олигомера) обеспечивает меловальной пасте улучшенные адгезионные свойства, благодаря чему повышаются печатные свойства образцов мелованной бумаги на 3–9%.

**Заключение.** В технологии клееных видов бумаги повышению эффективности применения функциональных (проклеивающего вещества) и процессных (электролита и катионного полиэлектролита) химических веществ в 1,5 раза

и более способствуют, во-первых, смещение процесса проклейки волокнистых суспензий (целлюлозных и макулатурных) из традиционного режима гемокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции и, во-вторых, изменение способов введения их в волокнистые суспензии. Предлагается использовать последовательность проклеивающее вещество – катионный полиэлектролит (расход 0,015–0,020% от а. с. в.) – электролит вместо существующего способа проклеивающее вещество – электролит – катионный полиэлектролит (расход 0,050–0,080% от а. с. в.). Рекомендованное соотношение проклеивающее вещество : катионный полиэлектролит : электролит по предлагаемой технологии составляет 1,00 ч. : 0,05–0,06 ч. : 0,80 ч., в то время как по существующей технологии соотношение проклеивающее вещество : электролит : катионный полиэлектролит достигает 1,00 ч. : 3,00 ч. : 0,16–0,26 ч. Предлагаемые расходы химических веществ обеспечивают повышение эффективности протекающих процессов коагуляции, пептизации, проклейки, упрочнения и флокуляции. Практическое использование разработанного способа применения химических веществ способствует улучшению бумагообразующих и структурообразующих свойств проклеенных волокнистых суспензий и повышению качества получаемых из них клееных видов бумаги, о чем свидетельствуют увеличение гидрофобности в 1,4–1,5 раза, прочности в 1,3–2,0 раза и влажностойкости в 3,5–3,7 раза.

В технологии мелованных видов бумаги повышение эффективности применения функциональных (пигментирующих и связующих) и процессных (диспергаторов, антисептиков, пеногасителей и др.) химических веществ обеспечивается заменой в меловальных пастах «проблемных» природных связующих (3 вида) на одно новое синтетическое соединение (модифицированный карбамидоформальдегидный олигомер), содержащее в своей структуре в отличие от известных аналогов дополнительные азотсодержащие группы. Последние усиливают адгезионные взаимодействия пигментирующих частиц с гидрофобной поверхностью бумаги. Следствием этого является повышение печатных свойств мелованной бумаги на 3–9%.

### Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. СПб.: Политехника, 2006. 499 с.
2. Черная Н. В. Теория и технология клееных видов бумаги и картона: монография. Минск: БГТУ, 2009. 394 с.
3. Хованский В. В., Дубовый В. К., Кейзер П. М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2013. 151 с.

4. Кожевников С. Ю., Андреева С. Л. Упрочнение бумаги синтетической катионно-анионной полиакриламидной смолой // *Химия растительного сырья*. 2011. № 2. С. 177–182.
5. Лапин В. В., Смоляков А. И. Специализированные виды катионного крахмала для бумажного производства // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. 2000. № 11–12. С. 23–25.
6. Осипов П. В. Эффекты синергизма между синтетическими полимерами и катионным крахмалом в макулатурных композициях // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. 2011. № 3. С. 74–77.
7. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами / А. А. Остапенко [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2012. № 1. С. 187–190.
8. Черная Н. В., Ламоткин А. И. Проклейка бумаги и картона в кислой и нейтральной средах: монография. Минск: БГТУ, 2003. 345 с.
9. Черная Н. В. Концептуальное развитие теории и технологии проклейки бумаги и картона гидродисперсиями модифицированной канифоли в режиме гетероадагуляции пептизированных частиц // *Полимерные материалы и технологии*. 2015. Т. 1, № 1. С. 76–90.
10. Chernaya N. V., Fleisher V. L., Zholnerovich N. V. The creation and implementation of the resource-conserving technology of paper and paperboard sizing with hydro-dispersions of modified rosin in mode of hetero-adagulation of peptized particles // *PNRPU. Appliedecology. Urbandevelopment*. 2017. No. 2. P. 87–101. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.08.
11. Мишурина О. А., Ершова О. А. Способы гидрофобизации и упрочнения композиционных целлюлозных материалов из вторичного сырья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 10. С. 363–366.
12. Лирова Б. И., Русинова Е. В. Анализ полимерных композиционных материалов: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 187 с.
13. Лапин В. В., Штрейс Е. Ф., Эльтенков Ю. А. Исследование влияния молекулярного веса катионных полимеров на фильтрацию целлюлозных волокнистых суспензий // *Изв. ВУЗов. Лесной журнал*. 1974. № 3. С. 124–126.
14. Берлин А. А., Кисленко В. Н., Соломенцева И. М. Математическое моделирование флокуляции суспензий полиэлектролитами // *Коллоидный журнал*. 1998. Т. 60, № 5. С. 592–597.
15. Kallmes O., Kallmes P., Bishop V. Monitoring flocculation on the paper machine // *TAPPI*. 1994. Vol. 77, no. 7. P. 194–198.
16. Лапин В. В. О быстром взаимодействии в системе волокнистая дисперсия – разбавленный раствор катионного полиэлектролита // *Исследования в области химии бумаги: сб. тр. ЦНИИБ*. 1976. № 12. С. 55–63.
17. Некоторые особенности использования синтетических флокулянтов / В. В. Тесленко [и др.] // *Бумажная промышленность*. 1989. № 9. С. 13–14.
18. Пузырев С. А., Воробьев О. В., Седова Е. В. Применение катионных флокулянтов в производстве бумаги // *Новые технические виды бумаги и картона*. 1987. С. 22–27.
19. Повышение прочности тароупаковочной бумаги с использованием азотсодержащих соединений / С. А. Гордейко [и др.] // *Труды БГТУ*. 2013. № 3: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 165–168.
20. Linolstrom T., Flonen T. The effect of filler particle size on the olry-strenghtening effect of cationic starch wet- and adolition // *Nord. PulpanPaperRes. J*. 1987. Vol. 2, no. 4. P. 142–151.
21. Бондарев А. И. Производство бумаги и картона с покрытием: учеб. пособие. М.: Лесная пром-сть, 1985. 192 с.
22. Способ получения упрочняющей добавки для изготовления бумаги: пат. ВУ 23441 / В. Л. Флейшер, Н. В. Черная, Е. П. Шишаков, Т. В. Чернышева. Оpubл. 30.08.2020.
23. Карпова С. В., Черная Н. В. Изучение свойств мелованной бумаги при замене природного связующего на новое синтетическое // *Химия и химическая технология переработки растительного сырья: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–12 окт. 2018 г. Минск, 2018*. С. 187–191.
24. Примаков С. Ф., Миловзоров В. П., Кухникова М. С. Лабораторный практикум по целлюлозно-бумажному производству. М.: Лесная пром-сть, 1980. 168 с.

## References

1. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 tomakh. Tom II. Proizvodstvo bumagi i kartona. Chast' 2. Osnovnyye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit* [Pulp and paper technology. In 3 vol. Vol. II. Manufacture of paper and cardboard. Part 2. The main types and properties of paper, cardboard, fiber and wood-based panels]. St.-Petersburg, Politekhnik Publ., 2006. 499 p. (In Russian).
2. Chernaya N. V. *Teoriya i tekhnologiya kleyonykh vidov bumagi i kartona* [Theory and technology of glued types of paper and cardboard]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 394 p. (In Russian).

3. Khovanskiy V. V., Dubovyy V. K., Keyzer P. M. *Primeneniye khimicheskikh vspomogatel'nykh veshchestv v proizvodstve bumagi i kartona* [The use of chemical excipients in the production of paper and cardboard]. St.-Petersburg, SPbGTURP Publ., 2013. 151 p. (In Russian).
4. Kozhevnikov S. Yu., Andreyeva S. L. Strengthening paper with synthetic cationic-anionic polyacrylamide resin. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2011, no. 2, pp. 177–182 (In Russian).
5. Lapin V. V., Smolyakov A. I. Specialized types of cationic starch for paper production. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2000, no. 11–12, pp. 23–25 (In Russian).
6. Osipov P. V. Synergistic effects between synthetic polymers and cationic starch in waste paper compositions. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2011, no. 3, pp. 74–77 (In Russian).
7. Ostapenko A. A., Moroz V. N., Barbash V. A., Kozhevnikov S. Yu., Dubovyy V. K., Koveminskiy I. N. Improving the quality of paper from waste paper by chemical functional substances. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2012, no. 1, pp. 187–190 (In Russian).
8. Chernaya N. V., Lamotkin A. I. *Prokleyka bumagi i kartona v kisloy i neytral'noy sredakh* [Sizing paper and cardboard in acidic and neutral environments]. Minsk, BGTU Publ., 2003. 345 p. (In Russian).
9. Chernaya N. V. Conceptual development of the theory and technology of gluing paper and cardboard with hydrodispersions of modified rosin in the mode of heteroadagulation of peptized particles. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2015, vol. 1, no. 1, pp. 76–90 (In Russian).
10. Chernaya N. V., Fleisher V. L., Zholnerovich N. V. The creation and implementation of the resource-conserving technology of paper and paperboard sizing with hydro-dispersions of modified rosin in mode of heteroadagulation of peptized particles. *PNRPU. Appliedecology. Urbandevlopment*, 2017, no. 2, pp. 87–101. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.08.
11. Mishurina O. A., Yershova O. A. Methods of hydrophobization and hardening of composite cellulose materials from secondary raw materials. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, no. 10, pp. 363–366 (In Russian).
12. Lirova B. I., Rusinova Ye. V. *Analiz polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Analysis of polymer composite materials]. Yekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta Publ., 2008. 187 p. (In Russian).
13. Lapin V. V., Shtreis E. F., Eltenkov Yu. A. Investigation of the influence of the molecular weight of cationic polymers on the filtration of cellulose fibrous suspensions. *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest Journal], 1974, no. 3, pp. 124–126 (In Russian).
14. Berlin A. A., Kislenco V. N., Solomentseva I. M. Mathematical modeling of flocculation of suspensions with polyelectrolytes. *Kolloidnyy zhurnal* [Colloid Journal], 1998, vol. 60, no. 5, pp. 592–597 (In Russian).
15. Kallmes O., Kallmes P., Bishop B. Monitoring flocculation on the paper machine. *TAPPI*, 1994, vol. 77, no. 7, pp. 194–198.
16. Lapin V. V. On fast interaction in the system fibrous dispersion – diluted solution of cationic polyelectrolyte. *Issledovaniya v oblasti khimii bumagi: sbornik trudov TSNIIB* [Research in paper chemistry: Proceedings of the TsNIIB], 1976, no. 12, pp. 55–63 (In Russian).
17. Teslenko V. V., Danilova D. A., Fedyukin A. V., Nekhaychuk O. G. Some features of the use of synthetic flocculants. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1989, no. 9, pp. 13–14 (In Russian).
18. Puzyrev S. A., Vorob'yev O. V., Sedova Ye. V. The use of cationic flocculants in paper production. *Novyye tekhnicheskkiye vidy bumagi i kartona* [New technical types of paper and cardboard], 1987, pp. 22–27 (In Russian).
19. Gordeyko S. A., Zholnerovich N. V., Chernaya N. V., Fleysheer V. L., Drapeza A. A., Andryukhova M. V., Makarova D. S. Increasing the strength of packaging paper using nitrogen-containing compounds. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 3: Chemistry, technology of organic substances and biotechnology], pp. 165–168 (In Russian).
20. Linolstrom T., Flonen T. The effect of filler particle size on the olry-strenghtening effect of cationic starch wet- and adolition. *Nord. PulpandPaperRes. J.*, 1987, vol. 2, no. 4, pp. 142–151.
21. Bondarev A. I. *Proizvodstvo bumagi i kartona s pokrytiyem* [Manufacture of coated paper and board]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 192 p. (In Russian).
22. Fleysheer V. L., Chernaya N. V., Shishakov Ye. P., Chernysheva T. V. A method of obtaining a hardening additive for the manufacture of paper. Patent BY 23441, 2020 (In Russian).
23. Karpova S. V., Chernaya N. V. Studying the properties of coated paper when replacing a natural binder with a new synthetic. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya pererabotki rastitel'nogo syr'ya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Chemistry and chemical technology of plant raw material processing: Materials of the International Science and Technology Conference]. Minsk, 2018, pp. 187–191 (In Russian).

24. Primakov S. F., Milovzorov V. P., Kukhnikova M. S. *Laboratornyy praktikum po tsellyulozno-bumazhnomu proizvodstvu* [Laboratory workshop on pulp and paper production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 168 p. (In Russian).

#### Информация об авторах

**Черная Наталья Викторовна** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: chornaya@belstu.by

**Шашок Жанна Станиславовна** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shashok@belstu.by

**Усс Елена Петровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: uss@belstu.by

**Карпова Светлана Валерьевна** – магистр технических наук, ассистент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: aspirantura.bgtu@tut.by

**Мисюров Олег Александрович** – аспирант кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: omisurov@mail.ru

#### Information about the authors

**Chernaya Natal'ya Viktorovna** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chornaya@belstu.by

**Shashok Zhanna Stanislavovna** – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shashok@belstu.by

**Uss Elena Petrovna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uss@belstu.by

**Karpova Svetlana Valerievna** – Master of Engineering, Assistant Lecturer, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aspirantura.bgtu@tut.by

**Misyurov Oleg Aleksandrovich** – PhD student, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: omisurov@mail.ru

Поступила 29.11.2021