

УДК 676.2:544.6.018.47-036.5

С. А. Дашкевич¹, С. А. Гордейко¹, Ж. С. Шашок¹, Е. П. Усс¹, Н. С. Никулина²¹Белорусский государственный технологический университет²Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России**ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ СЛАБООСНОВНЫХ КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ НА КАЧЕСТВО КЛЕЕННЫХ ВИДОВ БУМАГИ И КАРТОНА И УДЕРЖАНИЕ КОМПОНЕНТОВ БУМАЖНЫХ МАСС**

Эффективность использования слабоосновных катионных полиэлектролитов (СКП) зависит от последовательности введения в волокнистые суспензии химических веществ (модифицированного канифольного продукта (МКП), электролита (Э) и СКП) и содержания их в дисперсных системах. Изучены гидрофобность и прочность бумаги и картона в зависимости от трех способов применения СКП: 1) МКП – Э – СКП; 2) МКП – СКП – Э; 3) СКП – МКП – Э. Исследовано влияние СКП на удержание компонентов (волокон и проклеивающих комплексов) бумажных масс. Установлено, что повышению эффективности использования СКП способствует смещение процесса проклейки волокнистых суспензий (целлюлозных и макулатурных) из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции. Обнаружено, что применение СКП по способам 2 и 3 позволяет получать среднелепные виды бумаги и картона с высокой прочностью. Перспективным способом использования СКП является способ 1, основанный на дополнительном его участии в новом процессе пептизации. Установлено, что эффективность применения СКП (способ 1) в целлюлозных и макулатурных суспензиях является высокой при соотношении МКП : Э : СКП, равном 1,0 : 0,8 : (0,025–0,030) и 1,0 : 1,2 : (0,030–0,045) соответственно; бумага и картон относятся к категории сильноклееных (имеют высокую гидрофобность и обладают улучшенной прочностью). Получено, что применение СКП по способам 2 и 3 позволяет получать среднелепные виды бумаги и картона с высокой прочностью.

Ключевые слова: коагуляция, пептизация, гетероадагуляция, флокуляция, гидрофобность, прочность, бумага, картон.

Для цитирования: Дашкевич С. А., Гордейко С. А., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Никулина Н. С. Влияние способов применения слабоосновных катионных полиэлектролитов на качество клеенных видов бумаги и картона и удержание компонентов бумажных масс // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 150–160.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-17.

S. A. Dashkevich¹, S. A. Gordeyko¹, Zh. S. Shashok¹, E. P. Uss¹, N. S. Nikulina²¹Belarusian State Technological University²Voronezh Institute of Advanced Training of Employees GPS EMERCOM of Russia**THE INFLUENCE OF METHODS OF APPLICATION OF WEAKLY BASIC CATIONIC POLYELECTROLYTES ON THE QUALITY OF GLUED TYPES OF PAPER AND CARDBOARD AND RETENTION OF PAPER PULP COMPONENTS**

The efficiency of using weakly basic cationic polyelectrolytes (BCP) depends on the sequence of introduction of chemicals (modified rosin product (MRP), electrolyte (E) and BCP) into fibrous suspensions and their content in dispersed systems. The hydrophobicity and strength of paper and cardboard were studied depending on three ways of using BCP: 1) MRP – E – BCP; 2) MRP – BCP – E; 3) BCP – MRP – E. The effect of BCP on the retention of components (fibers and sizing complexes) of paper masses was studied. It was found that the shift of the sizing process of fibrous suspensions (cellulose and waste paper) from the traditional mode of homocoagulation to a more effective mode of heteroadagulation contributes to an increase in the effectiveness of the use of BCP. It was found that the use of BCP according to methods 2 and 3 allows to obtain medium-glued types of paper and cardboard with high strength. Promising methods of using BCP are method 1, based on its additional participation in the new peptization process. It was found that the effectiveness of BCP (method 1) in cellulose and waste paper suspensions is high with a ratio of MRP : E : BCP equal to 1.0 : 0.8 : (0.025–0.030) and 1.0 : 1.2 : (0.030–0.045) respectively; paper and cardboard belong to the category of highly glued (have high hydrophobicity and they have improved durability). It was found that the use of BCP according to methods 2 and 3 makes it possible to obtain medium glued types of paper and cardboard with high strength.

Keywords: coagulation, peptization, heteroadagulation, flocculation, hydrophobicity, strength, paper, cardboard.

For citation: Dashkevich S. A., Gordeyko S. A., Shashok Zh. S., Uss E. P., Nikulina N. S. The influence of methods of application of weakly basic cationic polyelectrolytes on the quality of glued types of paper and cardboard and retention of paper pulp components. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283), pp. 150–160 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-17.

Введение. Клееные виды бумаги и картона должны обладать требуемой степенью гидрофобности, а также регламентируемой прочностью и требуемой влапопрочностью. Технология массовых видов бумаги и картона должна дополнительно обеспечивать высокую степень удержания в их структуре присутствующих компонентов (в особенности волокон и проклеивающих комплексов) [1–17].

Существующая технология получения массовых видов бумажной и картонной продукции основана на использовании в волокнистых суспензиях (целлюлозных и макулатурных) функциональных химических веществ, к числу которых относятся модифицированные канифольные продукты (МКП), электролиты (Э) и слабоосновные катионные полиэлектролиты (СКП). Каждое из этих соединений оказывает влияние на характер протекающих процессов коагуляции и флокуляции. Особое значение имеют коллоидно-химические взаимодействия, протекающие между отрицательно заряженными частицами дисперсной фазы МКП и положительно заряженными формами гидроксосоединений алюминия ($\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$), введенными в дисперсную систему с раствором электролита [14]; от них зависит дисперсность проклеивающих комплексов и их электрокинетический потенциал.

Содержание частиц дисперсной фазы МКП в бумажных массах обычно находится в диапазоне 1,0–2,2% от абсолютно сухого волокна (а. с. в.). Соотношение МКП : Э : СКП составляет, как правило, 1,0 : 3,0 : 0,05 и 1,0 : 4,5 : 0,06 для целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно. Традиционно используемое количество электролита является, по нашему мнению, избыточным, поскольку проклеивающие комплексы образуются во второй области электролитной коагуляции частиц дисперсной фазы МКП. Их размер достигает 4500–6000 нм. Они не способны равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон. Поэтому протекающий процесс проклейки в режиме гомокоагуляции ухудшает гидрофобность бумаги и картона и приводит к потере первоначальной их прочности и влапопрочности. Присутствующий в бумажных массах СКП в количестве 0,05–0,06% от а. с. в. обеспечивает протекание флокуляционного процесса. Однако СКП способствует дальнейшему повышению размеров проклеивающих комплексов

от 4500–6000 до 5200–7400 нм, что усиливает протекание процесса проклейки волокнистых суспензий в режиме гомокоагуляции.

Следовательно, содержание химических веществ в бумажных массах должно быть таким, чтобы полученные из них клееные виды бумаги и картона обладали не только высокой гидрофобностью, но и необходимыми прочностными и влапопрочными свойствами.

Традиционный способ использования СКП в технологии клееных видов бумаги и картона основан на последовательном введении в волокнистые суспензии МКП, Э и СКП. При этом исходные волокнистые суспензии представляют собой дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются волокна (целлюлозные и макулатурные), а дисперсионной средой – вода. Целлюлозные волокна получают из первичных полуфабрикатов, к числу которых относятся различные виды целлюлозы небеленой и беленой из хвойных и лиственных пород древесины с применением разнообразных способов варки (сульфитных, бисульфитных, моносулфитных, натронных, сульфатных и т. д.). Макулатурные волокна содержатся во вторичных полуфабрикатах; их получают путем переработки разнообразных марок макулатуры белой и сборной.

Особенностью получения клееных видов бумаги и картона является использование целлюлозных и макулатурных волокон [7, 8], которые отличаются проклеивающей способностью, обусловленной разным электрокинетическим потенциалом волокон.

Целлюлозные волокна имеют отрицательный электрокинетический потенциал благодаря присутствующим на их поверхности активным реакционноспособным гидроксильным группам, а макулатурные волокна являются электронейтральными из-за расположения на их поверхности частиц ранее введенных химических веществ. Это влияет на эффективность протекающих процессов проклейки, упрочнения и флокуляции.

Актуальной задачей является улучшение качества клееных видов бумаги и картона при одновременном повышении степени удержания в их структуре волокон и проклеивающих комплексов. Последние образуются при коллоидно-химическом взаимодействии частиц дисперсной фазы МКП с положительно заряженными формами гидроксосоединений алюминия ($\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$,

$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$, введенными в дисперсную систему с раствором электролита [14]. Соотношение МКП : Э обычно составляет 1 : 3 и 1 : 5 при проклейке целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно. Следует отметить, что используемое количество электролита является, на наш взгляд, избыточным, поскольку проклеивающие комплексы образуются во второй области электролитной коагуляции. Они являются электронеутральными и крупнодисперсными, что приводит к протеканию процесса проклейки в режиме гомокоагуляции [5]. Образовавшиеся проклеивающие комплексы не способны равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон.

По существующей технологии, когда на завершающей стадии получения бумажной массы СКП вводят в проклеенную волокнистую суспензию, основным процессом является флокуляция. Поэтому роль СКП заключается, как правило, в повышении степени удержания волокон в структуре бумаги и картона. При этом не учитывается влияние СКП не только на процесс формирования проклеивающих комплексов и характер их распределения на поверхности волокон, но и на качество бумаги и картона, которое характеризуют комплексом показателей – гидрофобностью, прочностью и влагопрочностью.

К перспективным способам повышения эффективности использования СКП относятся, по нашему мнению, способы, основанные на выборе оптимальной очередности введения в дисперсные системы применяемых химических веществ (МКП, Э и СКП), а также на использовании их в минимальных количествах (в особенности электролита). Такие технологические решения позволяют управлять процессами образования проклеивающих комплексов, упрочнения и флокуляции, а также способствуют смещению процесса проклейки из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции.

Отсутствие в научной и технической литературе информации о влиянии способов использования СКП на качество клееных видов бумаги и картона (гидрофобность, прочность и влагопрочность) и степень удержания волокон и проклеивающих комплексов обуславливает необходимость проведения исследования и актуальность с научной и практической точек зрения.

Основная часть. Цель исследования – изучение влияния способов применения СКП на качество образцов бумаги и картона, проклеенных в двух противоположных режимах гомокоагуляции и гетероадагуляции, и удержание компонентов бумажных масс.

Предметы исследования – процессы проклейки, упрочнения и флокуляции, протекающие в дисперсных системах в зависимости от способов

введения СКП в технологии клееных видов бумаги и картона.

Объекты исследования – бумажные массы, отличающиеся последовательностью введения в волокнистые суспензии химических веществ (МКП, Э и СКП), и полученные из них образцы бумаги и картона.

Для исследования выбраны:

1) целлюлоза по ГОСТ 14940–96 «Целлюлоза сульфатная беленая из лиственной древесины (осиновая). Технические условия», макулатура по ГОСТ 10700–97 «Макулатура бумажная и картонная. Технические условия» и полученные на их основе 1%-ные волокнистые суспензии со степенью помола 40°ШР;

2) МКП [3], содержащий 50% сухих веществ, и полученная на его основе высокосмоляная 2%-ная канифольная эмульсия;

3) электролит (сульфат алюминия в соответствии с ГОСТ 12966–85 «Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия»); 10%-ный раствор содержал положительно заряженные формы гидроксо соединений алюминия [14]: $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ (85%), $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ (10%) и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$ (5%);

4) СКП, представляющий собой полиамид-полиаминэпихлоргидриновую смолу согласно ТУ РБ 300041455.021-2001 «Смола полиамидная Водамин-115: каталожный лист продукции»; рабочая концентрация составляла 0,1%.

В отобранные пробы 1%-ных волокнистых суспензий (40°ШР, 250 см³) последовательно вводили исследуемые химические вещества следующим образом:

- способ 1: МКП – Э – СКП;
- способ 2: МКП – СКП – Э;
- способ 3: СКП – МКП – Э.

Для проклейки волокнистых суспензий (целлюлозных и макулатурных) использовали одинаковое количество 2%-ных канифольных эмульсий, полученных на основе МКП.

Содержание МКП (R_1) в дисперсных системах являлось постоянным и составляло 1,0% от а. с. в.

Содержание электролита (R_2) в дисперсных системах обеспечивало образование проклеивающих комплексов не во второй области электролитной коагуляции МКП (существующая технология), а в первой области (разработанная технология). Однако для целлюлозных и макулатурных суспензий соотношение МКП : Э было разным и составляло 1,0 : 0,8 и 1,0 : 1,2 соответственно.

Содержание СКП (R_3) увеличивали от 0,005 до 0,060% от а. с. в.

Способы применения СКП отличались последовательностью введения в волокнистые суспензии химических веществ (МКП, Э и СКП). Их содержание в целлюлозных и макулатурных дисперсных системах являлось одинаковым.

Полученные бумажные массы представляли собой дисперсные системы, содержащие целлюлозные и макулатурные волокна (включая волокнистую мелочь) и проклеивающие комплексы. Образованию последних способствовали коллоидно-химические взаимодействия [5], протекающие между отрицательно заряженными частицами дисперсной фазы МКП (имели исходный размер 170–200 нм и отрицательный электрокинетический потенциал –25 мВ) и положительно заряженными формами гидроксосоединений алюминия [14].

Приготовленные дисперсные системы использовали для изготовления на листоотливном аппарате Rapid-Ketten образцов бумаги (80 г/м^2) и элементарных слоев картона (80 г/м^2) в соответствии с прилагаемой к нему инструкцией.

Образцами сравнения являлись дисперсные системы и изготовленные из них образцы бумаги (80 г/м^2) и элементарные слои картона (80 г/м^2), полученные по существующей технологии. Для этого в волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные) вводили химические вещества в количестве R_i , % от а. с. в., в следующей последовательности: МКП ($R_1 = 1,0$) – электролит ($R_2 = 3,0$ для целлюлозных суспензий и $R_2 = 4,5$ для макулатурных суспензий) – СКП ($R_3 = 0,05$).

Отличие разработанных дисперсных систем, полученных по способам 1–3, от известных (способ 1) состояло в изменении соотношения МКП : Э, что позволило осуществлять процесс проклейки в двух противоположных режимах:

1) гетероадагуляция (разработанный способ) – соотношение МКП : Э составляло 1,0 : 0,8 и 1,0 : 1,2 для целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно; при этом содержание СКП (R_3) в дисперсных системах увеличивали от 0,01 до 0,06% от а. с. в.;

2) гомокоагуляция (существующий способ) – соотношение МКП : Э составляло 1,0 : 3,0 и 1,0 : 4,5 для целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно; при этом содержание СКП было постоянным и составляло $R_3 = 0,05\%$ от а. с. в. для целлюлозных суспензий и $R_3 = 0,06\%$ от а. с. в. для макулатурных суспензий.

Образцами сравнения являлись дисперсные системы, не содержащие СКП ($R_3 = 0$), а также дисперсные системы, полученные по существующей технологии ($R_3 = 0,05\%$ от а. с. в. для целлюлозных суспензий и $R_3 = 0,06\%$ от а. с. в. для макулатурных суспензий). В волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные) последовательно вводили сначала полученную на основе МКП 2%-ную канифольную эмульсию в количестве $R_1 = 1,0\%$ от а. с. в. и 10%-ный раствор электролита в количестве $R_2 = 3,0\%$ от а. с. в. для целлюлозных суспензий и $R_2 = 4,5\%$ от а. с. в. для макулатурных суспензий, а затем СКП (R_3).

Качество образцов бумаги и элементарных слоев картона характеризовали гидрофобностью

и прочностью. Удержание компонентов бумажных масс определяли для волокон и проклеивающих комплексов.

Гидрофобность образцов бумаги и элементарных слоев картона характеризовали впитываемостью при одностороннем смачивании V , г/м^2 , и степенью проклейки по штриховому методу СП, мм. Значения V и СП находили по ГОСТ 12905–97 «Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (метод Кобба)» и ГОСТ 8049–62 «Бумага. Штриховой метод определения степени проклейки» соответственно.

Прочность образцов бумаги и элементарных слоев картона оценивали по разрывной длине РД, м, и влагопрочности $V_{\text{вл}}$, %, которые определяли по ГОСТ ИСО 1924-1–96 «Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 1. Метод нагружения с постоянной скоростью» и ГОСТ 13525.7–68 «Бумага и картон. Методы определения влагопрочности» соответственно.

Степень удержания волокон $SУ_v$, %, и проклеивающих комплексов $SУ_{\text{пк}}$, %, устанавливали по стандартным методикам.

Получено, что образцы сравнения, изготовленные по существующей технологии ($R_1 = 1,0\%$ от а. с. в. и $R_2 = 3,0\%$ от а. с. в. для целлюлозных суспензий и $R_2 = 4,5\%$ от а. с. в. для макулатурных суспензий), имели следующие свойства:

– без применения СКП ($R_3 = 0$):

$V = 16 \text{ г/м}^2$, СП = 1,8 мм, РД = 4500 м, $V_{\text{вл}} = 3\%$, $SУ_v = 94\%$ и $SУ_{\text{пк}} = 69,8\%$;

– с использованием СКП ($R_3 = 0,05\%$ от а. с. в. для целлюлозных суспензий и $R_3 = 0,06\%$ от а. с. в. для макулатурных суспензий):

а) для целлюлозных образцов бумаги:

$V = (20 \pm 2) \text{ г/м}^2$, СП = $(1,6 \pm 0,2)$ мм, РД = (4500 ± 100) м, $V_{\text{вл}} = (5 \pm 1)\%$, $SУ_v = (96,5 \pm 0,5)\%$ и $SУ_{\text{пк}} = (73,0 \pm 0,6)\%$;

б) для макулатурных образцов бумаги:

$V = (25 \pm 2) \text{ г/м}^2$, СП = $(1,4 \pm 0,2)$ мм, РД = (2600 ± 100) м, $V_{\text{вл}} = (4 \pm 1)\%$, $SУ_v = (95,5 \pm 0,3)\%$ и $SУ_{\text{пк}} = (72,0 \pm 0,4)\%$.

На рис. 1–3 представлены зависимости влияния способов применения СКП в дисперсных системах на качество образцов бумаги (элементарных слоев картона) и удержание в их структуре компонентов бумажных масс (волокон и проклеивающих комплексов). Приведенные результаты исследования относились к образцам, для получения которых использовали первичный волокнистый полуфабрикат – целлюлозу. Аналогичные зависимости получены для вторичного волокнистого полуфабриката – макулатуры. При этом СКП вводили в дисперсные системы по трем способам:

1) способ 1 (кривая 1): МКП – Э – СКП;

2) способ 2 (кривая 2): МКП – СКП – Э;

3) способ 3 (кривая 3): СКП – МКП – Э.

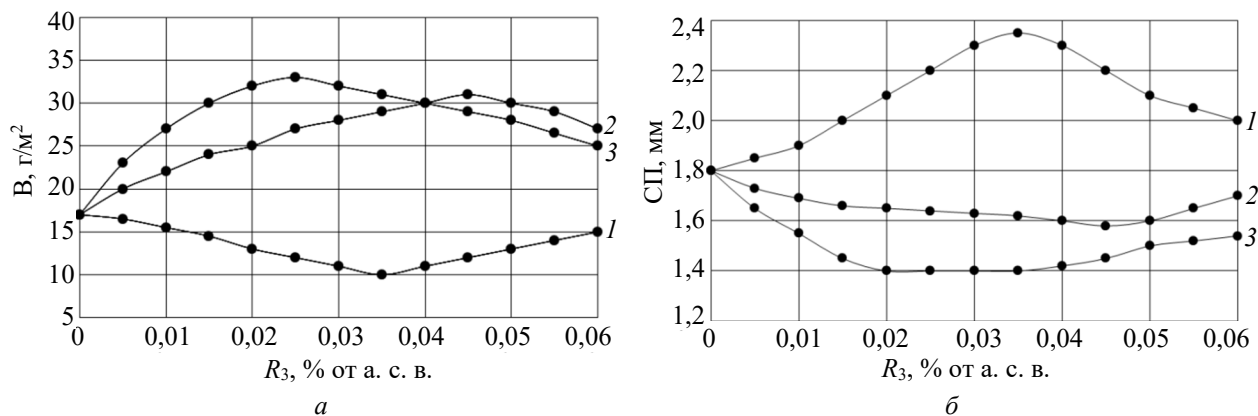


Рис. 1. Влияние способов применения СКП на гидрофобность образцов бумаги:
a – впитываемость при одностороннем смачивании;
б – степень проклейки по штриховому методу

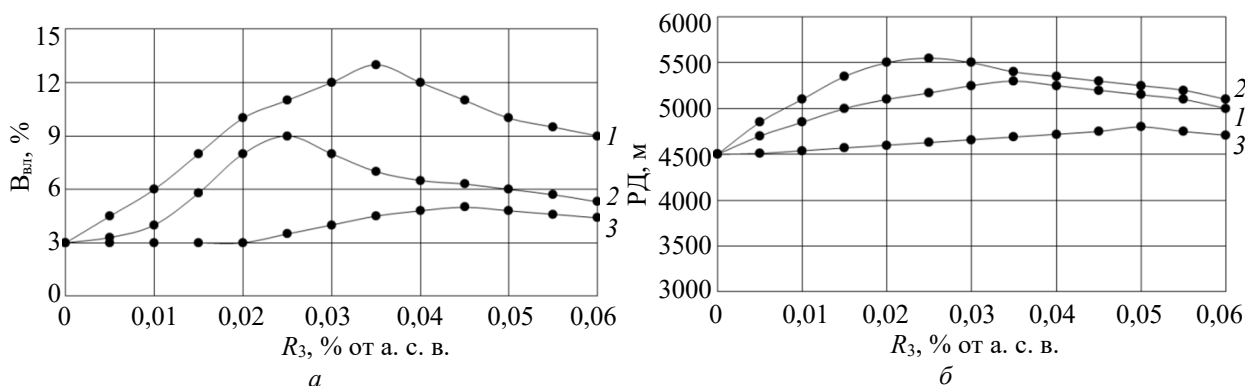


Рис. 2. Влияние способов введения СКП на прочность образцов бумаги:
a – влагопрочность; *б* – разрывная длина

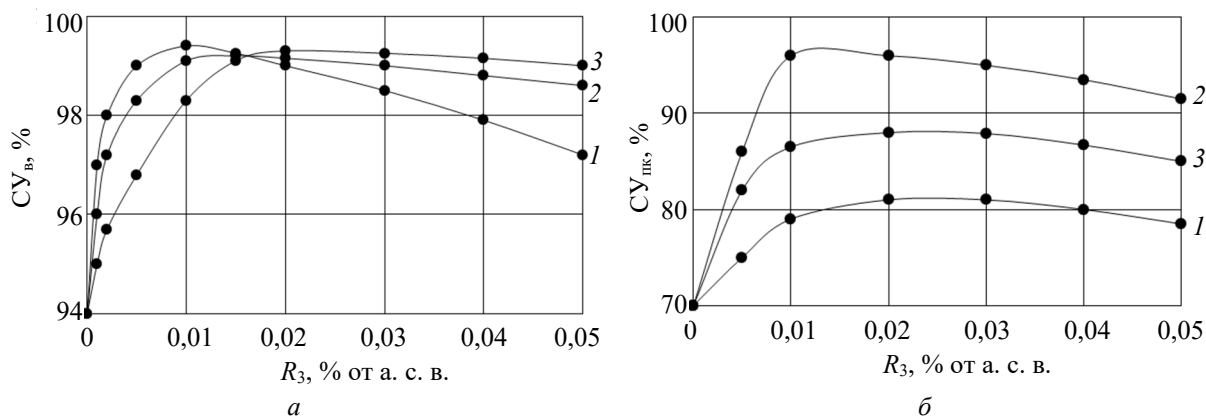


Рис. 3. Влияние способов добавления СКП на степень удержания компонентов бумажных масс:
a – степень удержания волокон; *б* – степень удержания проклеивающих комплексов

Получено, что качество (V , $СП$, $РД$, $V_{вл}$) образцов бумаги и элементарных слоев картона, изготовленных из первичных волокнистых полуфабрикатов (рис. 1 и 2) в присутствии СКП по разработанным способам 1–3, на 10–20% превосходило аналогичные показатели по сравнению с макулатурными образцами. Установленные зависимости для целлюлозных и макулатурных образцов являлись идентичными. Отличие состояло в числовых значениях V , $СП$, $РД$ и $V_{вл}$. При этом

зависимости влияния способов применения СКП на $СУ_{в}$ и $СУ_{пк}$ для целлюлозных макулатурных образцов, представленных на рис. 3, также являются идентичными. Выявлено, что степень удержания компонентов бумажных масс ($СУ_{в}$ и $СУ_{пк}$) улучшается на 5–8% при замене макулатурных волокон на целлюлозные.

Установлено (рис. 1, *a*), что для целлюлозосодержащих образцов, полученных по способам 1–3, впитываемость при одностороннем смачивании

находилась в диапазоне 10–33 г/м², а для макулатурных образцов – в пределах 16–41 г/м². При этом степень проклейки по штриховому методу (рис. 1, б) для целлюлозосодержащих образцов составляла 1,4–2,4 мм, а для макулатурных образцов – 0,8–2,2 мм.

Получено (рис. 2, б), что разрывная длина исследуемых образцов бумаги (элементарных слоев картона), полученных по разработанному способам 1–3, находилась в пределах 4580–5500 м при использовании целлюлозных суспензий и в диапазоне 2600–3700 м для макулатурных суспензий. При этом СКП способствовал повышению влажностной прочности (рис. 2, а) от 3 до 6–11% (в 2,0–3,7 раза). Заметное улучшение разрывной длины и влажностной прочности соответствовало предпочтительному содержанию СКП в дисперсных системах. Положительный эффект усиливался в зависимости от способов применения СКП.

Ниже представлены результаты исследования по влиянию разработанных способов использования СКП на качество образцов бумаги (элементарных слоев картона) и удержание компонентов (волокна и проклеивающих комплексов), присутствующих в проклеенных бумажных массах.

Применение СКП по способу 1 основано на последовательном введении в волокнистые суспензии МКП, Э и СКП. Результаты исследования представлены на рис. 1–3 (кривые 1). Они свидетельствуют о том, что гидрофобность образцов бумаги и элементарных слоев картона, изготовленных из целлюлозных (рис. 1) и макулатурных суспензий, является высокой, поскольку $10 \leq B \leq 30$ г/м² (рис. 1, а) и $2,2 \leq СП \leq 2,4$ мм (рис. 1, б). Этот положительный эффект достигается при содержании в бумажных массах СКП в количестве $0,025 \leq R_3 \leq 0,045\%$ от а. с. в. В этом случае в дисперсных системах идут процессы коагуляции в первой области (новый процесс), пептизации (новый процесс) и флокуляции. При этом СКП участвует не только в дезагрегировании (пептизации) проклеивающих комплексов, образовавшихся в первой области электролитной коагуляции МКП и имеющих размер 1500–2500 нм, но и в процессе флокуляции.

При соотношении МКП : Э, равном 1,0 : 0,8 и 1,0 : 1,2 для целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно, коагуляционный процесс проходил не во второй области (по существующему способу МКП : Э = 1,0 : (3,0–4,5)), а в первой (разработанный способ).

Процесс пептизации, протекающий в присутствии СКП, способствовал образованию новых проклеивающих комплексов в виде пептизированных частиц. Последние являлись не только мелкодисперсными (имели размер 170–200 нм, сопоставимый с размером частиц дисперсной фазы в исходных МКП), но и положительно

заряженными (электрокинетический потенциал находился в диапазоне от +35 до +50 мВ). Такие частицы равномерно распределялись монослоем и прочно фиксировались на поверхности волокна, что свидетельствовало о протекании процесса проклейки волокнистых суспензий в режиме гетероадагуляции. Это можно объяснить протеканием двух новых процессов:

– коагуляция в первой области за счет снижения соотношения МКП : Э от 1,0 : (3,0–4,5) до 1,0 : (0,8–1,2);

– пептизация коагулятов.

Разработанная технология применения СКП по способу 1 позволила сместить процесс проклейки волокнистых суспензий из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции.

Обнаруженный положительный эффект по улучшению гидрофобности бумаги и элементарных слоев картона при использовании СКП в количестве $0,025 \leq R_3 \leq 0,045\%$ от а. с. в. по разработанному способу 1 (МКП – Э – СКП), как видно из рис. 1, можно объяснить снижением соотношения МКП : Э в целлюлозных суспензиях от 1,0 : 3,0 до 1,0 : 0,8 и в макулатурных суспензиях от 1,0 : 4,5 до 1,0 : 1,2.

Установлено, что процесс коагуляции происходил в обнаруженной нами первой области (новый процесс по разработанному способу), а не во второй (существующий способ). В первой области осуществлялось формирование пептизирующихся коагулятов, имеющих размер 1500–2500 нм, в то время как во второй области образовывались крупнодисперсные коагуляты, имеющие размер 4500–6000 нм и не способные к пептизации (деагрегированию).

Поэтому последующее добавление в разработанную дисперсную систему СКП в количестве $0,025 \leq R_3 \leq 0,045\%$ от а. с. в. обеспечивало сначала протекание нового процесса пептизации, а затем – флокуляции.

Обнаружены следующие достоинства разработанного способа 1 (МКП – Э – СКП), позволившие в совокупности улучшить качество бумаги (картона) и повысить удержание компонентов бумажных масс. Они заключались в последовательном осуществлении следующих основных процессов:

1) *электролитная коагуляция в первой области (новый процесс)* – происходило образование коагулятов, способных к пептизации (деагрегированию); этому способствовало уменьшение размеров коагулятов от 4500–6000 до 1500–2500 нм за счет снижения содержания электролита в дисперсных системах и уменьшения соотношения МКП : Э в целлюлозных суспензиях от 1,0 : 3,0 до 1,0 : 0,8 и в макулатурных суспензиях от 1,0 : 4,5 до 1,0 : 1,2;

2) *пептизация (новый процесс)* – отмечалось дезагрегирование коагулятов, имеющих размер 1500–2500 нм, и осуществлялось формирование новых проклеивающих комплексов в виде мелкодисперсных положительно заряженных пептизированных частиц, способных равномерно распределяться монослоем и прочно фиксироваться на поверхности волокон (целлюлозных – отрицательно заряженных; макулатурных – электронейтральных); электростатическое взаимодействие волокон и пептизированных частиц способствовало осуществлению процесса проклейки в режиме гетероадагуляции;

3) *флокуляция* – наблюдалось формирование флокул из волокон, проклеенных в режиме гетероадагуляции, за счет приближения волокнистой мелочи к волокнам крупных и средних размеров; этот эффект проявлялся на последующих традиционных стадиях формирования структуры бумаги и картона, когда происходило сначала обезвоживание 1%-ной бумажной массы до сухости 20–24%, а затем – прессование образцов (до сухости 40–42%) и их сушка (до влажности 5–7%);

4) *формирование на поверхности волокон равномерной тонкой гидрофобной пленки* – осуществлялось на стадии термообработки образцов бумаги и элементарных слоев картона при температуре 110–120°C; такая образовавшаяся пленка способствовала повышению гидрофобности бумаги и элементарных слоев картона, о чем свидетельствовало, как видно из рис. 1, снижение B от 18–24 до 10–12 г/м² (в 1,8–2,0 раза) и повышение СП от 1,4–1,8 до 2,2–2,4 мм (в 1,3–1,6 раза); при этом по сравнению с существующим способом применения СКП происходило улучшение (на 10–20%) прочности образцов бумаги в сухом (РД) и во влажном ($B_{вл}$) состояниях.

Одной из основных причин увеличения прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) является сближение волокон, на поверхности которых находилась равномерная тонкая гидрофобная пленка (разработанная технология) вместо неравномерной «толстой» пленки (существующая технология). Она не препятствовала образованию межволоконных связей в структуре бумаги и картона, что в целом способствовало максимальному сохранению их первоначальной прочности. Подтверждением этого положительного эффекта являлось повышение прочности разработанных образцов по сравнению с образцами, полученными по существующей технологии: разрывная длина (рис. 2, б) увеличивалась на 10–11% (от 4500–4700 до 5000–5200 м) и влапрочность (рис. 2, а) возрастала в 1,3–1,4 раза (от 7–8 до 8–9%).

Установлено, что смещение процесса проклейки из режима гомокоагуляции в режим гетероадагуляции способствовало повышению степени удержания проклеивающих комплексов ($СУ_{пк}$)

в структуре образцов бумаги (элементарных слоев картона). Из рис. 3, б (кривая 1) видно увеличение $СУ_{пк}$ от 77,0–78,3 до 80,0–82,3%. Это, на наш взгляд, являлось дополнительной причиной повышения гидрофобности бумаги и элементарных слоев картона. Следствием этого послужило снижение впитываемости при одностороннем смачивании В (рис. 1, а, кривая 1) в 1,8–2,0 раза (от 18–24 до 10–12 г/м²) и повышение степени проклейки по штриховому методу СП (рис. 1, б) в 1,3–1,6 раза (от 1,4–1,8 до 2,2–2,4 мм).

Применение СКП по способу 1 обеспечивало протекание процесса флокуляции, что способствовало повышению степени удержания волокон (рис. 3, а) в структуре образцов бумаги (элементарных слоев картона) от 95,5–96,5 до 97,6–98,9%. Это свидетельствовало о сокращении безвозвратных потерь волокон (в особенности волокнистой мелочи), удаляемых с регистровой водой на стадии обезвоживания проклеенной бумажной массы.

Решение этой актуальной проблемы применительно к производственным условиям способствует снижению загрязненности оборотных и сточных вод бумажных и картонных фабрик и повышению экологической безопасности действующих производств.

Разработанный способ 1 получения клееных видов бумаги и картона с использованием СКП является ресурсосберегающим. Об этом свидетельствует уменьшение содержания в бумажных массах электролита (в 3,7–3,8 раза) и СКП (в 1,3–1,4 раза). При этом сократились безвозвратные потери волокон и проклеивающих комплексов за счет повышения удержания их в бумажных массах.

Установлено, что рекомендуемые соотношения МКП : Э : СКП составляли соответственно 1,0 : 0,8 : (0,025–0,030) и 1,0 : 1,2 : (0,030–0,045) для целлюлозных и макулатурных суспензий.

Применение СКП по существующему способу отличается от разработанного способа 1 соотношением используемых химических веществ. Они являлись, по нашему мнению, избыточными. Это относилось не только к электролиту, но и к СКП. Существующие соотношения МКП : Э : СКП составляли для целлюлозных суспензий 1,0 : 3,0 : (0,050–0,060) и для макулатурных суспензий 1,0 : 4,5 : (0,050–0,060).

Отличие разработанного способа 1 от существующего состояло в протекании двух новых процессов, основанных на обеспечении сначала коагуляционного процесса не во второй, а в первой области, а затем – пептизации (деагрегировании) коагулятов в присутствии СКП. Полученные новые проклеивающие комплексы в виде мелкодисперсных положительно заряженных пептизированных частиц обеспечивали протекание процесса проклейки волокнистых суспензий

(целлюлозных и макулатурных) в эффективном режиме гетероадагуляции вместо традиционного режима гомокоагуляции. Сущность этого режима заключалась в том, что проклеивающие комплексы, имеющие размер 170–200 нм и электростатический потенциал в диапазоне от +35 до +50 мВ, равномерно распределялись монослоем и прочно фиксировались на поверхности волокон за счет электростатического взаимодействия.

Следовательно, применение СКП по разработанному способу 1 (МКП – Э – СКП), с одной стороны, обеспечивало по сравнению с существующим улучшение качества (гидрофобности (В и СП), прочности (РД) и влагонепроницаемости ($V_{\text{вл}}$)) клееных видов бумаги и картона и, с другой стороны, способствовало повышению удержания в их структуре не только волокон, но и проклеивающих комплексов. Установлено, что впитываемость при одностороннем смачивании (В) уменьшилась в 1,8–2,0 раза, степень проклейки по штриховому методу (СП) возросла в 1,3–1,6 раза, разрывная длина (РД) увеличилась на 10–11% и влагонепроницаемость ($V_{\text{вл}}$) повысилась в 1,3–1,4 раза. При этом степень удержания волокон и проклеивающих комплексов заметно увеличилась и достигла высоких значений, равных 97,6–98,9 и 80,0–82,3% соответственно. Технология применения СКП относится к ресурсосберегающим благодаря уменьшению содержания в бумажных массах электролита и СКП в 3,7–3,8 и 1,3–1,4 раза соответственно. Достоинством способа 1 является повышение эффективности использования СКП в технологии сильноклееных видов бумаги и картона с улучшенной прочностью.

Применение СКП по способу 2 основывалось на последовательном введении в волокнистые суспензии МКП, СКП и Э. Содержание МКП в дисперсных системах было постоянным и, как в способе 1, составляло 1,0% от а. с. в. Содержание СКП увеличивали от 0,005 до 0,060% от а. с. в. Содержание электролита, как и в способе 1, было постоянным. Для целлюлозных и макулатурных суспензий соотношение МКП : Э составляло 1,0 : 0,8 и 1,0 : 1,2 соответственно.

Основными протекающими процессами являлись флокуляция и коагуляция. Процесс пептизации отсутствовал.

Из рис. 1 (кривые 2) видно, что присутствие в бумажных массах СКП ухудшает гидрофобность образцов бумаги и элементарных слоев картона. Об этом свидетельствуют повышение В (рис. 1, а) от исходных 13–15 г/м² при $R_3 = 0$ до 28–31 г/м² при $0,035 \leq R_3 \leq 0,055\%$ от а. с. в. и снижение СП (рис. 1, б) от 1,8 до 1,5–1,6 мм.

Одной из основных причин ухудшения гидрофобности (повышение В и снижение СП) являлось, по нашему мнению, протекание сначала процесса флокуляции, а затем коагуляции.

Поэтому часть непроклеенных (исходных) волокон оказалась вовлеченными во внутреннюю структуру флокул, а другая часть волокон, находящаяся на поверхности флокул, оказалась «перенасыщенной» проклеивающими комплексами. Последние, как и в способе 1, формировались в первой области электролитной коагуляции МКП. Они обладали способностью к пептизации (деагрегированию). Однако процесс пептизации не протекал из-за отсутствия пептизирующих ионов.

Прочность образцов бумаги и элементарных слоев картона, как видно из рис. 2 (кривые 2), сначала увеличивается (РД (рис. 2, б) от 4500 до 5500 м; $V_{\text{вл}}$ (рис. 2, а) от 3 до 11%) за счет повышения содержания в дисперсных системах СКП от 0,005 до 0,025% от а. с. в., а затем уменьшается (РД (рис. 2, б) от 5500 до 5050 м; $V_{\text{вл}}$ (рис. 2, а) от 11 до 4%) из-за продолжающегося процесса флокуляции. Этому способствует дальнейшее повышение содержания СКП в дисперсных системах (целлюлозных и макулатурных) от 0,025 до 0,060% от а. с. в.

Удержание компонентов бумажных масс, как видно из рис. 3, являлось достаточно высоким в тех случаях, когда в дисперсных системах (целлюлозных и макулатурных) присутствовал СКП в количестве $0,015 \leq R_3 \leq 0,025\%$ от а. с. в. Степени удержания волокон $СУ_{\text{в}}$ (рис. 3, а) и проклеивающих комплексов $СУ_{\text{пк}}$ (рис. 3, б) достигали 93,0–93,5 и 89,0–93,5% соответственно. Получено, что снижение или повышение R_3 сопровождалось ухудшением удержания компонентов бумажных масс в структуре бумаги и элементарных слоев картона. Одной из основных причин послужило, по нашему мнению, преобладание процесса флокуляции над процессом электролитной коагуляции.

Следовательно, использование СКП по способу 2 (МКП – СКП – Э) является эффективным в технологии среднеклееных видов бумаги и картона, к прочности которых предъявляются высокие требования.

Применение СКП по способу 3 основывалось на последовательном введении в волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные) СКП, МКП, Э. Содержание каждого из химических веществ в дисперсных системах соответствовало содержанию R_1 – R_3 при использовании СКП по способам 1 и 2. Отличие состояло в очередности введения каждого исследуемого химического вещества в волокнистые суспензии. Последние изготавливали из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) волокнистых полуфабрикатов.

Гидрофобность образцов бумаги и элементарных слоев картона, как видно из рис. 1 (кривые 3), зависит от содержания СКП в дисперсных системах. Характер изменения впитываемости

при одностороннем смачивании В (рис. 1, а) и степени проклейки по штриховому методу СП (рис. 1, б) при использовании СКП по способу 3 является идентичным способу 2. Отличие состоит в незначительном снижении содержания СКП (R_3) в проклеенных волокнистых суспензиях.

Установлено, что при содержании СКП в дисперсных системах в количестве $0,020 \leq R_3 \leq 0,035\%$ от а. с. в. достигались значения $30 < B \leq 33 \text{ г/м}^2$ и $1,6 \leq \text{СП} \leq 1,7 \text{ мм}$, что свидетельствует о получении образцов, относящихся к категории среднеклееных.

Прочность образцов бумаги и элементарных слоев картона, полученных по способу 3, как видно из рис. 2 (кривые 3), незначительно уступала прочности аналогичных образцов, полученных по способу 2. Установлено, что при содержании в дисперсных системах СКП в количестве $0,020 \leq R_3 \leq 0,035\%$ от а. с. в. разрывная длина (рис. 2, б) находилась в диапазоне $4800 \leq \text{РД} \leq 4950 \text{ м}$, а влагопрочность (рис. 2, а) – в пределах $5 \leq B_{\text{вл}} \leq 6\%$.

Незначительное улучшение качества образцов бумаги и элементарных слоев картона можно объяснить тем, что протекающие процессы коагуляции и флокуляции не позволяли обеспечить получение мелкодисперсных положительно заряженных пептизированных частиц. Для протекания процесса пептизации в дисперсных системах отсутствовали необходимые ионы-пептизаторы. При этом процесс флокуляции являлся доминирующим.

Отмеченные причины объясняют незначительное снижение гидрофобности и прочности у образцов бумаги и элементарных слоев картона, полученных по способу 3, по сравнению с образцами, полученными способом 2.

Высокое удержание компонентов в бумажных массах, как видно из рис. 3, позволило рассматривать применение СКП по способу 3 при использовании в технологии клееных видов бумаги и картона вторичных волокнистых полуфабрикатов (различных марок макулатуры).

Следовательно, применение СКП по способу 3 (СКП – МКП – Э) представляет практический интерес для технологии среднеклееных видов бумаги и картона, изготовленных преимущественно из вторичных волокнистых полуфабрикатов и для которых прочность не регламентируется.

Сопоставительный анализ результатов исследования, представленных на рис. 1–3 и демонстрирующих влияние способов использования СКП на качество бумаги и картона и удержание компонентов бумажных масс, позволил сделать следующие важные выводы:

– гидрофобность бумаги и картона может быть высокой ($B \leq 30 \text{ г/м}^2$), средней ($30 < B \leq 50 \text{ г/м}^2$), низкой ($50 < B \leq 70 \text{ г/м}^2$) или отсутствовать ($70 < B \leq 120 \text{ г/м}^2$);

– для некоторых видов бумаги (например, чертежной, рисовальной, тетрадной, документной и др.) дополнительно измеряют степень проклейки по штриховому методу (СП, мм), которая дополняет впитываемость при одностороннем смачивании (В);

– степень гидрофобности бумаги (картона) характеризует ее сортность и определяет область ее применения;

– полученные значения РД и $B_{\text{вл}}$ дополняют известную классификацию бумаги и картона по четырем основным категориям гидрофобности (В и СП) и прочности:

1) сильноклееные с улучшенной прочностью:
 $B \leq 30 \text{ г/м}^2$, $2,2 \leq \text{СП} \leq 2,4 \text{ мм}$, $5000 \leq \text{РД} \leq 5200 \text{ м}$ и $8 \leq B_{\text{вл}} \leq 9\%$;

2) среднеклееные с высокой прочностью:
 $30 < B \leq 50 \text{ г/м}^2$, $1,4 \leq \text{СП} < 2,2 \text{ мм}$, $5400 \leq \text{РД} \leq 5500 \text{ м}$ и $10 \leq B_{\text{вл}} \leq 11\%$;

3) слабоклееные:
 $50 < B \leq 70 \text{ г/м}^2$ и $0,6 \leq \text{СП} < 1,4 \text{ мм}$;

4) неклееные:
 $70 < B \leq 120 \text{ г/м}^2$ и $0,1 \leq \text{СП} < 0,6 \text{ м}$.

Заключение. Результаты исследования позволили сделать два основных вывода.

Во-первых, эффективность использования слабоосновных катионных полиэлектролитов в технологии клееных видов бумаги и картона зависит от последовательности введения в волокнистые суспензии химических веществ (МКП, Э и СКП) и содержания их в дисперсных системах. Изучено три способа применения СКП (МКП – Э – СКП; МКП – СКП – Э; СКП – МКП – Э). Исследовано их влияние на гидрофобность и прочность бумаги и картона, а также на удержание компонентов (волокон и проклеивающих комплексов) бумажных масс. Установлено, что повышению эффективности использования СКП способствует смещение процесса проклейки волокнистых суспензий (целлюлозных и макулатурных) из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции.

Во-вторых, к перспективным способам применения СКП относится способ 1, основанный на дополнительном его участии в новом процессе пептизации. Обнаружено, что эффективность применения СКП является высокой при использовании способа 1, при котором соотношение МКП : Э : СКП составляет $1,0 : 0,8 : (0,025–0,030)$ и $1,0 : 1,2 : (0,030–0,045)$ для целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно; бумага и картон относятся к категории сильноклееных (имеют высокую гидрофобность: $B \leq 30 \text{ г/м}^2$ и $2,2 \leq \text{СП} \leq 2,4 \text{ мм}$) и обладают улучшенной прочностью ($5000 \leq \text{РД} \leq 5200 \text{ м}$ и $8 \leq B_{\text{вл}} \leq 9\%$). Получено, что применение СКП по способам 2 и 3 позволяет получать среднеклееные виды бумаги и картона с высокой прочностью.

Список литературы

1. Фляте Д. М. Технология бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1988. 440 с.
2. Черная Н. В., Ламоткин А. И. Проклейка бумаги и картона в кислой и нейтральной средах. Минск: БГТУ, 2003. 345 с.
3. Черная Н. В. Теория и технология клееных видов бумаги и картона: монография. Минск: БГТУ, 2009. 394 с.
4. Гордейко С. А., Черная Н. В., Шишаков Е. П. Упрочнение макулатурных видов бумаги и картона, проклеенных в кислой, нейтральной и слабощелочной средах // ИВУЗ. Лесной журнал. 2015. № 5. С. 165–173.
5. 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.
6. Иванов С. Н. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. СПб.: Политехника, 2006. 499 с.
7. Шабиев Р. О., Смолин А. С. Анализ электрокинетических параметров бумажной массы. СПб.: СПб ГТУРП, 2012. 80 с.
8. Кожевников С. Ю., Ковернинский И. Н. Межволоконные электростатические связи в бумаге // Химия растительного сырья. 2012. № 3. С. 197–202.
9. Bicu I. Water soluble polymers from Diels-Alder adducts of abietic acid as paper additives // Macromol. Mater. Eng. 2000. No. 280/281. P. 47–53.
10. Kotitschke G. “Triple star” – The State of the Art and Most Efficient Production Line in the World for Woodfree Cjfted Papers. New York: Voith, 2002. 186 p.
11. Loretzen A., Wetter N. Paper Testing and Process Optimization. Stockholm: L & Handbook, 2000. 218 p.
12. Eklund G. Die Vorgänge unter dem Schaber beim Glattachaber-Streichen // Wochenblatt für Papierfabrikation. 1978. No. 18. S. 709–714.
13. Zholnerovich N. V., Nicolaychik I. V., Chernaya N. V. Influence of urea-formaldehyde oligomer composition on technical paper properties // Proceedings of BSTU. 2014. No. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology. P. 125–127.
14. Копылович М. Н., Радион Е. В., Баев А. К. Распределение различных форм алюминия (III) и меди (II) в растворах и схема процесса гетероядерного гидроксокомплексообразования // Координационная химия. 1995. Т. 21, № 1. С. 66–71.
15. Хованский В. В., Дубовый В. К., Кейзер П. М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона. СПб.: СПб ГТУРП, 2013. 151 с.
16. Химия бумаги: исследование действия упрочняющих и обезвоживающих добавок / Р. О. Шабиев [и др.] // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 263–270.
17. Ресурсосберегающая технология высококачественных видов бумаги и картона из вторичных волокнистых полуфабрикатов / Н. В. Черная [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 36–42.

References

1. Flyate D. M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 440 p. (In Russian).
2. Chernaya N. V., Lamotkin A. I. *Prokleyka bumagi i kartona v kisloy i neytral'noy sredakh* [Sizing paper and cardboard in acidic and neutral media]. Minsk, BGTU Publ., 2003. 345 p. (In Russian).
3. Chernaya N. V. *Teoriya i tekhnologiya kleenykh vidov bumagi i kartona* [Theory and technology of glued types of paper and cardboard]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 394 p. (In Russian).
4. Gordeyko S. A., Chernaya N. V., Shishakov E. P. Hardening of recycled paper and cardboard, glued in acidic, neutral and slightly alkaline media. *IVUZ. Lesnoy zhurnal* [NHEI. Forest Journal], 2015, no. 5, pp. 165–173 (In Russian).
5. Chernaya N. V. Conceptual development of the theory and technology of sizing 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).
6. Ivanov S. N. *Tekhnologiya tselyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 tomakh. Tom 2. Proizvodstvo bumagi i kartona* [Technology of pulp and paper production. In 3 vol. Vol. 2. The main types and properties of paper, cardboard, fiber and wood slabs]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2006. 499 p. (In Russian).
7. Shabiev R. O., Smolin A. S. *Analiz elektrokineticheskikh parametrov bumazhnoy massy* [Analysis of electrokinetic parameters of paper mass]. St. Petersburg, SPb GTURP Publ., 2012. 80 p. (In Russian).

8. Kozhevnikov S. Yu., Koverninskiy I. N. Inter-Fiber electrostatic bonds in paper. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2012, no. 3, pp. 197–202 (In Russian).
9. Bicu I. Water soluble polymers from Diels-Alder adducts of abietic acid as paper additives. *Macromol. Mater. Eng.*, 2000, no. 280/281, pp. 47–53.
10. Kotitschke G. “Triple star” – The State of the Art and Most Efficient Production Line in the World for Woodfree Papers Cjfted. New York, Voith, 2002. 186 p.
11. Loretzen A., Wetter N. Paper Testing and Process Optimization. Stockholm, L & Handbook, 2000. 218 p.
12. Eklund G. Die Vorgänge unter dem Schaber beim Glattachaber-Streichen. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, 1978, no. 18, s. 709–714.
13. Zholnerovich N. V., Nicolaychik I. V., Chernaya N. V. Influence of urea-formaldehyde oligomer composition on technical paper properties. *Proceedings of BSTU*, 2014, no. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, pp. 125–127.
14. Kopylovich M. N., Radion E. V., Baev A. K. The distribution of various forms of aluminum (III) and copper (II) in solutions and the scheme of the heteronuclear hydroxocomplex formation process. *Koordinatsionnaya khimiya* [Coordination chemistry], 1995, vol. 21, no. 1, pp. 66–71 (In Russian).
15. 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, SPb GTURP Publ., 2013. 151 p. (In Russian).
16. Shabiev R. O., Smolin A. S., Kozhevnikov S. Yu., Koverninskiy I. N. Paper chemistry: investigation of the hardening and dehydrating additives action. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2014, no. 4, pp. 263–270 (In Russian).
17. Chernaya N. V., Gordeyko S. A., German N. A., Chernysheva T. V., Dashkevich S. A., Misyurov O. A. Resource-saving technology of high-quality types of paper and cardboard from secondary fibrous semi-finished products. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2024, no. 1 (277), pp. 36–42 (In Russian).

Информация об авторах

Дашкевич Светлана Аркадьевна – магистрант кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dashkevich@belstu.by

Гордейко Светлана Александровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sveta_gordeiko@mail.ru

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

Никулина Надежда Сергеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности. Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России (394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231, Российская Федерация). E-mail: Nikylin_sergey48@mail.ru

Information about the authors

Dashkevich Svetlana Arkad'yevna – Master's degree student, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dashkevich@belstu.by

Gordeyko Svetlana Aleksandrovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sveta_gordeiko@mail.ru

Shashok Zhanna Stanislavovna – DSc (Engineering), 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), Associate Professor, 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

Nikulina Nadezhda Sergeevna – PhD (Engineering), Senior Lecture, the Department of Fire Safety. Voronezh Institute of Advanced Training of Employees GPS EMERCOM of Russia (231, Krasnoznamennaya str., 394052, Voronezh, Russian Federation). E-mail: Nikylin_sergey48@mail.ru

Поступила 26.04.2024