

УДК 676.2.046:544.6.018.47-036.5

**С. А. Дашкевич, С. А. Гордейко**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛЬНООСНОВНЫХ  
КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ  
КЛЕЕННЫХ ВИДОВ БУМАГИ И КАРТОНА**

Особенностью применения катионных полиэлектролитов (КП) при получении клееных видов бумаги и картона является их способность участвовать в процессах коагуляции, флокуляции, пептизации, структурообразования, связеобразования, гидрофобизации и упрочнения. Установлено, что характер протекающих процессов зависит от способа использования и содержания КП в дисперсных системах. Получение клееных видов бумаги и картона основано на применении модифицированного канифольного продукта (МКП), электролита (Э) и КП. Изучены свойства бумаги и картона и степень удержания компонентов бумажных масс (волокон, проклеивающих комплексов и взвешенных веществ) в зависимости от содержания в дисперсных системах КП при использовании его по следующим способам: 1) МКП – Э – КП, 2) МКП – КП – Э, 3) КП – МКП – Э. Установлено, что наиболее эффективным способом применения КП является способ 1 (МКП – Э – КП). Впервые изучена возможность снижения содержания в дисперсной системе КП от 0,20 до 0,02% от а. с. в. Показано, что применение КП по способу 1 позволяет получить высококачественные виды бумаги и картона, обладающие высокой гидрофобностью и отличающиеся от известных аналогов улучшенной прочностью (на 18–25%) и влагопрочностью (в 1,7–2,7 раза). Использование КП повышает степень удержания волокон от 94 до 97–98% и проклеивающих комплексов от 70 до 82–96%, а также уменьшает содержание взвешенных веществ в оборотной воде в 3–12 раз.

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

**Для цитирования:** Дашкевич С. А., Гордейко С. А. Особенности применения сильноосновных катионных полиэлектролитов при получении клееных видов бумаги и картона // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 1 (289). С. 37–46.

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-5.

**S. A. Dashkevich, S. A. Gordeyko**

Belarusian State Technological University

**THE FEATURES OF USE STRONGLY BASIC CATIONIC POLYELECTROLYTES  
IN THE PRODUCTION OF GLUED TYPES OF PAPER AND CARDBOARDS**

The feature of the use of cationic polyelectrolytes (CP) in the production of glued paper and cardboard are their ability to participate in the processes of coagulation, flocculation, peptization, structure formation, bonding, hydrophobization and hardening. It is established that the nature of the processes depends on the method of application and the content of CP in dispersed systems. The production of glued types of paper and cardboard is based on the use of a modified rosin product (MRP), electrolyte (E) and CP. The properties of paper and cardboard and the degree of retention of the components of paper masses (fibers, sizing complexes and suspended solids) depending on the content of CP in dispersed systems when using it according to methods: 1) MRP – E – CP, 2) MRP– CP – E, 3) CP – MRP – E. It has been established that the most effective way of using CP is method 1 (MRP – E – CP). For the first time, the possibility of reducing the content of CP in a dispersed system from 0.20 to 0.02% of a. s. v. was studied. It is shown that the use of CP according to method 1 makes it possible to obtain high-quality types of paper and cardboard with high hydrophobicity and differing from known analogues in improved strength (by 18–25%) and moisture resistance (by 1.7–2.7 times). The use of CP increases the degree of retention of fibers from 94 to 97–98% and sizing complexes from 70 to 82–96%, and also reduces the content of suspended solids in recycled water by 3–12 times.

**Keywords:** coagulation, peptization, heteroadagulation, sizing, flocculation, hydrophobicity, strength, moisture resistance, paper, cardboard.

**For citation:** Dashkevich S. A., Gordeyko S. A. The features of use strongly basic cationic polyelectrolytes in the production of glued types of paper and cardboards. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 1 (289), pp. 37–46 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-5.

**Введение.** Расширение ассортимента и области использования клееных видов бумаги и картона зависит от многих технологических факторов [1]. Особое значение имеют вид применяемых химических веществ (канифольная эмульсия, электролит и катионный полиэлектролит) и последовательность их введения в размолотую волокнистую суспензию.

Используемые химические вещества оказывают существенное влияние на качество бумаги и картона, а также на удержание компонентов, присутствующих в проклеенных бумажных массах. Последние представляют собой дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются волокна и проклеивающие комплексы, а дисперсионной средой – вода. При обезвоживании проклеенных бумажных масс [2–8], отличающихся компонентным составом и структурообразующими свойствами, происходит удаление дисперсионной среды. Процесс формирования структуры клееных видов бумаги и картона оказывает существенное влияние на степень удержания присутствующих компонентов (волокон и проклеивающих комплексов) и качество получаемой продукции (гидрофобность, прочность и влагонепроницаемость).

Качество клееных видов бумаги и картона характеризуют комплексом показателей, среди которых основное значение имеют требуемая степень гидрофобности и регламентируемые прочность и влагонепроницаемость. Технология массовых видов бумаги и картона должна дополнительно обеспечивать высокую степень удержания в их структуре всех компонентов, присутствующих в бумажных массах [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 катионные полиэлектролиты (КП). Содержание в дисперсных системах МКП, Э и КП влияет на характер протекающих процессов коагуляции, флокуляции, структурообразования, связеобразования, гидрофобизации и упрочнения. Управление этими процессами основано на изменении составов дисперсных систем.

Однако отсутствие процесса пептизации и не в полной мере реализованные процессы структурообразования, связеобразования, гидрофобизации и упрочнения не позволяют улучшить качество клееных видов бумаги и картона, получаемых по существующей технологии с использованием МКП, Э и сильноосновного КП, содержание которого в бумажных массах является, по нашему мнению, избыточным.

Научный и практический интерес представляют способы, обеспечивающие улучшение качества клееных видов бумаги и картона при одновременном решении проблемы повышения степени удержания в их структуре присутствующих компонентов (волокон и проклеивающих комплексов).

В научной и технической литературе отсутствуют сведения о влиянии составов проклеенных бумажных масс на качество клееных видов бумаги и картона.

Особое значение имеют дисперсность и электрокинетический потенциал проклеивающих комплексов, а также их способность равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон. Образованию таких проклеивающих комплексов способствуют коллоидно-химические взаимодействия [2, 3, 5, 17], 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].

Существующая технология получения клееных видов бумаги и картона основана на последовательном введении в волокнистые суспензии МКП, Э и КП по способу 1. Соотношение МКП : Э обычно составляет 1 : 3 и 1 : 5 при проклейке целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно. Следует отметить, что используемое количество электролита приводит к протеканию коагуляционного процесса во второй области коагуляции [5]. Проклеивающие комплексы являются электронейтральными и крупнодисперсными, что вызывает протекание процесса проклейки в режиме гомокоагуляции [5]. Образовавшиеся проклеивающие комплексы не способны равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон.

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 : КП 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 не в первой, а 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 влагонепроницаемости. Присутствующий в бумажных

массах (дисперсных системах) сильноосновной КП в количестве 0,05–0,06% от а. с. в. обеспечивает протекание флокуляционного процесса. Это количество КП является, на наш взгляд, избыточным. Поэтому он участвует в коагуляционном процессе, что приводит к дальнейшему нежелательному повышению размеров проклеивающих комплексов от 4500–6000 до 5200–7400 нм, благодаря чему усиливается протекание процесса проклейки волокнистых суспензий в режиме гомокоагуляции.

Актуальной проблемой в технологии клееных видов бумаги и картона является смещение процесса проклейки волокнистых суспензий (целлюлозных и макулатурных) из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции. Для этого дисперсная система должна содержать такое количество МКП и Э, при котором сформировавшиеся проклеивающие комплексы не агрегировались, а являлись мелкодисперсными и положительно заряженными. Они способны равномерно распределяться монослоем и прочно фиксироваться на поверхности волокон (отрицательно заряженных целлюлозных и электронейтральных макулатурных). Следствием этого является придание бумаге и картону не только высокой степени гидрофобности, но и максимальное сохранение их первоначальной прочности. Дополнительно используемый КП должен, по нашему мнению, не только проявлять флокулирующее действие на дисперсную систему, но и повышать прочность и влагопрочность бумаги и картона за счет улучшения структурообразующих свойств дисперсной системы в целом и проклеенной бумажной массы в частности.

Особенностью получения клееных видов бумаги и картона является использование целлюлозных и макулатурных волокон [7, 8]. Они отличаются проклеивающей способностью, а также структурообразующими свойствами, от которых зависят прочность и влагопрочность бумаги и картона. 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.

По существующей технологии, когда на завершающей стадии получения бумажной массы КП вводят в проклеенную волокнистую суспензию, основным процессом является флокуляция. Поэтому роль КП заключается, как правило, в повышении степени удержания волокон в структуре бумаги и картона. При этом не учитывается

влияние КП 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 КП относятся, по нашему мнению, способы, основанные на выборе предпочтительной (наилучшей) очередности введения в дисперсные системы применяемых химических веществ (МКП, Э и КП), 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 введения КП на качество клееных видов бумаги и картона (гидрофобность, прочность и влагопрочность) и степень удержания в их структуре волокон и проклеивающих комплексов, представляющих собой взвешенные вещества в регистровой воде, обуславливает необходимость проведения исследования и актуальность данной работы с научной и практической точек зрения.

**Основная часть.** Цель исследования – изучение влияния способов применения КП на качество образцов бумаги и картона, проклеенных в двух противоположных режимах гомокоагуляции и гетероадагуляции, и удержание основных компонентов бумажных масс (волокон и проклеивающих комплексов).

Предметы исследования – процессы проклейки, упрочнения и флокуляции, протекающие в дисперсных системах в зависимости от способов использования КП в технологии клееных видов бумаги и картона.

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

Для исследования выбраны:

1) целлюлоза (ГОСТ 14940–96 «Целлюлоза сульфатная белая из лиственной древесины (основная). Технические условия»), макулатура (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 по ГОСТ 12966–85 «Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия»); 10%-ный раствор содержал положительно заряженные формы гидроксосоединений 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) КП, представляющий собой сополимер акриламида с метилхлоридом диметиламинопропилакриламида (СА МХ ДМАПА), выпускаемый под торговой маркой Праестол 630 ВС (ТУ 2216-001-40910172-98); промышленный образец относился к классу сильноосновных КП и являлся водорастворимым. КП имел молекулярную массу  $10^6$  у. е.

Волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные), размолотые в лабораторном ролле до  $40^\circ\text{ШР}$  и имеющие концентрацию 1%, использовали для получения дисперсных систем, отличающихся составом за счет изменения содержания в них трех видов химических веществ  $R_i$ , % от а. с. в.: МКП ( $R_1$ ), Э ( $R_2$ ) и КП ( $R_3$ ).

В отобранные пробы 1%-ных волокнистых суспензий ( $40^\circ\text{ШР}$ ,  $250 \text{ см}^3$ ) последовательно вводили исследуемые химические вещества следующим образом:

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

В качестве проклеивающего вещества использовали 1%-ную высокосмоляную эмульсию, полученную путем смешивания с водой пастообразного МКП (ТУ РБ 00280198-029-97). 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 КП ( $R_3$ ) в дисперсных системах увеличивали от 0,005 до 0,060% от а. с. в.

Полученные бумажные массы представляли собой дисперсные системы, содержащие целлюлозные и макулатурные волокна 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].

Изготовление образцов бумаги и элементарных слоев картона осуществляли на листоотливном

аппарате «Rapid-Ketten» (фирма Ernst Haage, Германия) в соответствии с прилагаемой к нему инструкцией. Образцы бумажной массы получали путем последовательного добавления в волокнистую суспензию МКП и растворов Э и КП.

Из приготовленной проклеенной волокнистой суспензии изготавливали образцы бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$ ) и элементарных слоев картона ( $80 \text{ г/м}^2$ ).

Образцами сравнения являлись два вида дисперсных систем, полученных по существующей технологии. Первый вид дисперсных систем не содержал КП ( $R_3 = 0$ ), а второй вид содержал КП в количестве  $R_3 = 0,05\%$  от а. с. в. для целлюлозных суспензий и  $R_3 = 0,06\%$  от а. с. в. для макулатурных суспензий.

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 КП ( $R_3$ ) в дисперсных системах увеличивали от 0,01 до 0,06% от а. с. в.;

2) гомотоадагуляция (существующий способ) – соотношение МКП : Э составляло 1,0 : 3,0 и 1,0 : 4,5 для целлюлозных и макулатурных суспензий соответственно; при этом содержание КП 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.

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  $B$ ,  $\text{г/м}^2$ , и степенью проклейки по штриховому методу СП, мм. Значения  $B$  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 влапрочности  $B_{\text{вл}}$ , %, 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 влапрочности» соответственно.

Степень удержания волокон  $\text{СУ}_\text{в}$ , %, и проклеивающих комплексов  $\text{СУ}_\text{пк}$ , %, устанавливали по стандартным методикам.

Получено, что образцы сравнения, изготовленные по существующей технологии, имели следующие свойства:

– без применения КП ( $R_3 = 0$ ):

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

– с использованием КП ( $R_3 = 0,05\%$  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 =  $(4500 \pm 100)$  м,  $V_{\text{вл}} = (5 \pm 1)\%$ ,  $\text{СУ}_V = (96,5 \pm 0,5)\%$  и  $\text{СУ}_{\text{ПК}} = (73,0 \pm 0,6)\%$ ;

б) для макулатурных образцов бумаги:

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

На рис. 1 и 2 представлены зависимости влияния способов применения КП в дисперсных системах на качество образцов бумаги (элементарных слоев картона).

Приведенные результаты исследования относились к образцам, для получения которых использовали первичный волокнистый полуфабрикат

(целлюлозу). Аналогичные зависимости получены для вторичного волокнистого полуфабриката – макулатуры. При этом КП вводили в дисперсные системы по трем способам:

1) способ 1 (кривая 1): МКП – Э – КП;

2) способ 2 (кривая 2): МКП – КП – Э;

3) способ 3 (кривая 3): КП – МКП – Э.

Получено, что качество ( $V$ , СП, РД,  $V_{\text{вл}}$ ) образцов бумаги и элементарных слоев картона, изготовленных из первичных волокнистых полуфабрикатов (рис. 1 и 2) в присутствии КП 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  $V_{\text{вл}}$ . При этом зависимости влияния способов применения КП на  $S$ ,  $\text{СУ}_V$  и  $\text{СУ}_{\text{ПК}}$  для целлюлозных (см. рис. 3 на с. 43) и макулатурных образцов также являются идентичными. Выявлено, что степень удержания компонентов бумажных масс ( $S$ ,  $\text{СУ}_V$  и  $\text{СУ}_{\text{ПК}}$ ) улучшается на 5–8% при замене макулатурных волокон на целлюлозные.

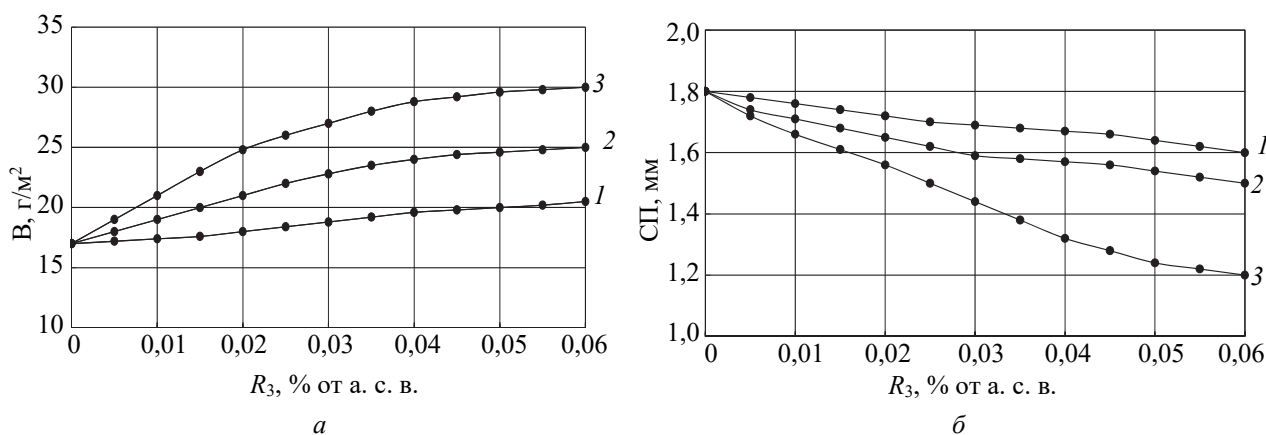


Рис. 1. Влияние способов применения КП на гидрофобность образцов бумаги:

а – впитываемость при одностороннем смачивании;

б – степень проклейки по штриховому методу

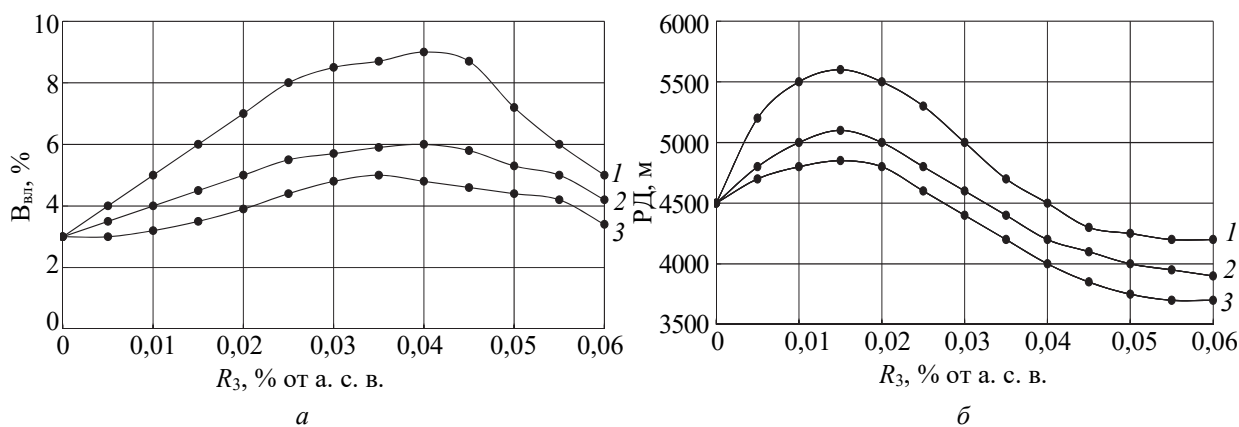


Рис. 2. Влияние способов введения КП на прочность образцов бумаги:

а – влагопрочность; б – разрывная длина

Сопоставительный анализ результатов исследования, представленных на рис. 1–3, свидетельствует о том, что показатели качества образцов бумаги и элементарных слоев картона существенно зависят от степени удержания в их структуре всех компонентов, присутствующих в бумажных массах.

Установлено, что изменение способов применения КП и содержания их в дисперсных системах ( $R_3$ , % от а. с. в.) позволяет получить образцы бумаги и картона, отличающиеся комплексом показателей качества, включающего гидрофобность ( $B$ , г/м<sup>2</sup>), СП, мм), прочность (РД, м) и влагопрочность ( $B_{вл}$ , %), и, следовательно, областью применения.

Существующий комплекс требований [1], предъявляемый к конкретному виду бумаги и картона, учитывает уровень значений комплекса показателей качества и классифицирует их по категориям следующим образом:

- гидрофобность бумаги и картона является высокой ( $B \leq 30$  г/м<sup>2</sup>), средней ( $30 < B \leq 50$  г/м<sup>2</sup>), низкой ( $50 < B \leq 70$  г/м<sup>2</sup>) или отсутствует ( $70 < B \leq 120$  г/м<sup>2</sup>);

- 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 ( $B$ );

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

- полученные значения РД и  $B_{вл}$  дополняют известную классификацию бумаги и картона по четырем основным категориям гидрофобности ( $B$  и СП), прочности (РД) и влагопрочности ( $B_{вл}$ ) следующим образом:

- 1) сильноклееные с улучшенной прочностью в сухом и во влажном состояниях:

$$B \leq 30 \text{ г/м}^2, 2,2 \leq \text{СП} \leq 2,4 \text{ мм}, 4300 \leq \text{РД} \leq 5200 \text{ м}$$

и  $8 \leq B_{вл} \leq 9\%$ ;

- 2) среднеклееные с высокими значениями прочности и влагопрочности:

$$30 < B \leq 50 \text{ г/м}^2, 1,4 \leq \text{СП} \leq 2,2 \text{ мм}, 4000 \leq \text{РД} \leq 5000 \text{ м}$$

и  $10 \leq B_{вл} \leq 11\%$ ;

- 3) слабклееные:

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

- 4) неклееные:

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

Получено (рис. 1 и 2), что исходные образцы бумаги и элементарные слои картона без использования КП ( $R_3 = 0$ ) имели следующие показатели качества:

- впитываемость при одностороннем смачивании  $B = 17$  г/м<sup>2</sup>;

- степень проклейки по штриховому методу СП – 1,8 мм;

- разрывная длина РД – 4500 м;

- влагопрочность  $B = 3\%$ .

Основываясь на общепринятой классификации клееных видов бумаги и картона и учитывая требования, предъявляемые к их качеству (по гидрофобности, прочности и влагопрочности), полученные результаты исследования (рис. 1 и 2) позволили выявить особенности способов применения сильноосновных КП в зависимости от способов их введения в дисперсные системы. В качестве КП использовали высокомолекулярные соединения катионного типа, относящиеся к широко применяемым видам «Праестол».

Особенности использования КП проявляются в зависимости от способов введения и их содержания  $R_3$  в дисперсных системах.

Существующая технология использования КП в технологии клееных видов бумаги и картона основана на применении химических веществ по способу 1 (МКП – Э – КП), когда содержание КП в дисперсных системах составляет  $0,15 \leq R_3 \leq 0,25\%$  от а. с. в. (в среднем  $0,20\%$  от а. с. в.). Такое добавление КП обеспечивает протекание основного процесса флокуляции. Это соединение способствует, как правило, повышению степени удержания волокон ( $СУ_v$ ) в структуре бумаги и картона от 94 до 96–97% благодаря протекающему флокуляционному процессу, при котором мелковолокнистая фракция совместно с длинной и средней фракцией формируют флокулы. При этом отсутствуют данные о степени удержания проклеиваемых комплексов ( $СУ_{пк}$ ) и о возможности дополнительного участия КП в процессах коагуляции МКП, проклейки (образования проклеиваемых комплексов и прочности фиксации их на поверхности волокон), структурообразования и связеобразования. В то же время содержание КП в дисперсных системах ( $0,05 \leq R_3 \leq 0,06\%$  от а. с. в.) является, по нашему мнению, избыточным, что, с одной стороны, ограничивает участие КП в других важных процессах и, с другой стороны, повышает себестоимость выпускаемой продукции.

Сопоставительный анализ результатов исследования, представленных на рис. 1 и 2, позволил установить следующие особенности применения КП:

- 1) при содержании КП в дисперсных системах, когда  $0,005 \leq R_3 \leq 0,02\%$  от а. с. в.:

- способ 1 (кривая 1) является целесообразным в тех случаях, когда необходимо сохранить исходную гидрофобность ( $17 \leq B \leq 18$  г/м<sup>2</sup> и  $1,7 \geq \text{СП} \geq 1,8$  г/м<sup>2</sup>) и дополнительно улучшить прочность в сухом (РД) и во влажном ( $B_{вл}$ ) состояниях, поскольку в присутствии КП значения РД возрастают от 4500 до 5500–5600 м (на 18–25%) и  $B_{вл}$  повышается от 3 до 5–8% (в 1,7–2,7 раза);

- способ 2 (кривая 2) является оправданным в тех случаях, когда необходимо обеспечить бумаге

и картону следующие показатели качества:  $19 \leq B \leq 20 \text{ г/м}^2$ ,  $1,6 \geq \text{СП} \geq 1,7 \text{ г/м}^2$ ,  $5000 \leq \text{РД} \leq 5100 \text{ м}$  и  $4 \leq B_{\text{вл}} \leq 5\%$ ;

– способ 3 (кривая 3) приводит к незначительному снижению не только гидрофобности ( $B$  и  $\text{СП}$ ), но и прочности в сухом ( $\text{РД}$ ) и во влажном ( $B_{\text{вл}}$ ) состояниях; об этом свидетельствуют повышение значений  $B$  от 19–20 до 21–25  $\text{г/м}^2$ , снижение  $\text{СП}$  от 1,6–1,7 до 1,5–1,6 мм, а также уменьшение не только  $\text{РД}$  от 5000–5100 до 4800–4850 м, но и  $B_{\text{вл}}$  от 6–7 до 3–4%;

2) при повышении содержания КП в дисперсных системах в 2 раза (от  $R_3 = 0,02\%$  от а. с. в. до  $R_3 = 0,04\%$  от а. с. в.):

– способ 1 (кривая 1) не влияет на впитываемость при одностороннем смачивании ( $B$  остается на уровне 18  $\text{г/м}^2$ ), однако незначительно ухудшает степень проклейки по штриховому методу на 0,1 мм ( $\text{СП}$  уменьшается от 1,7 до 1,6 мм, что составляет 6–7%); при этом  $\text{РД}$  снижается на 500 м (от 5500 до 5000 мм), однако она превышает на 500 м (на 11–13%) исходные значения ( $\text{РД} = 4500 \text{ м}$  при  $R_3 = 0$ );

– способ 2 (кривая 2) ухудшает на 17–18% впитываемость при одностороннем смачивании ( $B$  возрастает от 20 до 24  $\text{г/м}^2$ ) и одновременно снижает на 6–7% степень проклейки по штриховому методу ( $\text{СП}$  уменьшается от 1,6 до 1,5 мм); при этом прочность становится ниже на 750 м (на 14–15%) ( $\text{РД}$  изменяется от 5000 до 4250 м), а влагопрочность, наоборот, повышается от 5 до 6% (на 20–21%);

– способ 3 (кривая 3) приводит к снижению гидрофобности, о чем свидетельствует повышение впитываемости при одностороннем смачивании от 20 до 23  $\text{г/м}^2$  (на 14–15%) и снижение степени проклейки по штриховому методу от 1,7 до 1,3 мм (на 23–24%); при этом  $\text{РД}$  и  $B_{\text{вл}}$  постепенно уменьшаются и достигают значений на 3–5 и 4–6% соответственно ниже, чем при  $R_3 = 0,02\%$  от а. с. в.;

3) дальнейшее повышение содержания КП в дисперсных системах в 1,5 раза (от  $R_3 = 0,04\%$  от а. с. в. до  $R_3 = 0,06\%$  от а. с. в.):

– способ 1 (кривая 1) приводит к продолжению ухудшения гидрофобности, о чем свидетельствует повышение впитываемости при одностороннем смачивании от 18 до 20  $\text{г/м}^2$ , что составляет 9–10%, и позволяет сохранить степень проклейки по штриховому методу на уровне 1,6 мм; однако это значение хуже на 0,2 мм по сравнению с исходным (1,8 мм);

– способ 2 (кривая 2) способствует сохранению гидрофобности на уровне  $B = 25 \text{ г/м}^2$  и  $\text{СП} = 1,5 \text{ мм}$  и позволяет минимизировать ухудшение прочности и влагопрочности, которое на превышает 3–5 и 2–4% соответственно;

– способ 3 (кривая 3) обеспечивает сохранение показателей качества, достигнутых при  $R_3 = 0,04\%$  от а. с. в.:  $B = 20 \text{ г/м}^2$ ,  $\text{СП} = 1,2 \text{ мм}$ ,  $\text{РД} = 3700 \text{ м}$  и  $B_{\text{вл}} = 3\%$ ; однако все они уступают исходным значениям, когда  $R_3 = 0$ .

Обнаруженные положительные эффекты улучшения качества бумаги и картона с использованием КП можно объяснить повышением степени удержания компонентов, присутствующих в бумажных массах: волокон  $\text{СУ}_\text{в}$  (рис. 3, а) и проклеивающих комплексов  $\text{СУ}_\text{пк}$  (рис. 3, б). Это позволило уменьшить содержание взвешенных веществ в регистровой воде  $C$  (рис. 3, в).

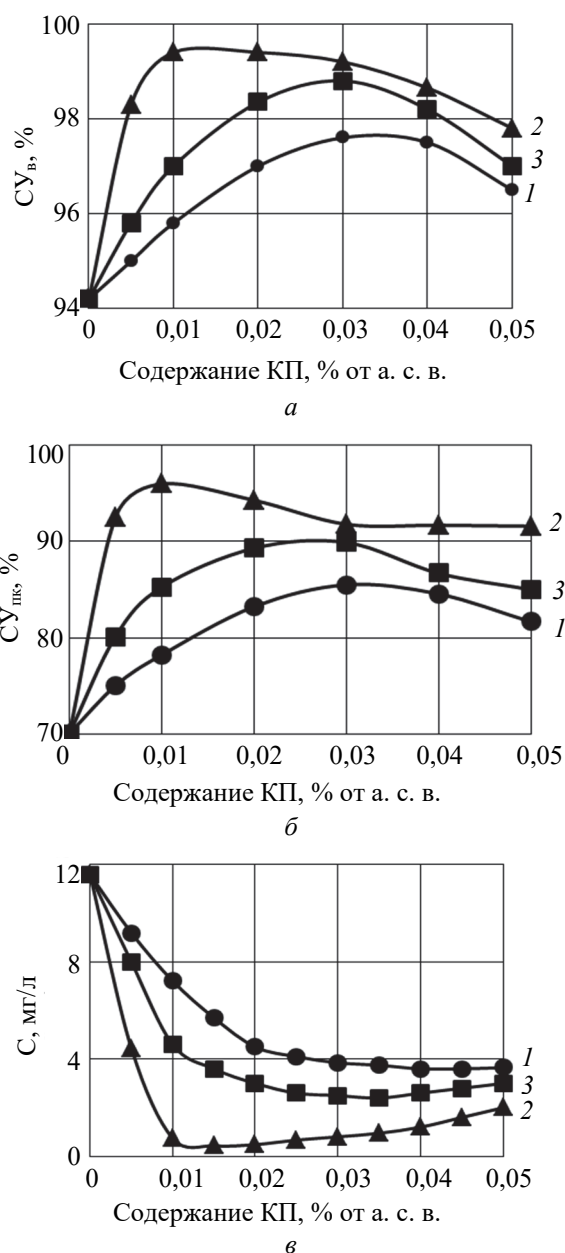


Рис. 3. Влияние способов добавления КП на степень удержания компонентов бумажных масс: а – степень удержания волокон; б – степень удержания проклеивающих комплексов; в – содержание взвешенных веществ в регистровой воде



Установлено, что для дисперсных систем, не содержащих КП ( $R_3 = 0$ ), основным процессом является электролитная коагуляция, обеспечивающая образование положительно заряженных проклеивающих комплексов и фиксацию их на поверхности целлюлозных волокон, имеющих отрицательный электрокинетический потенциал. Получено, что электронейтральные макулатурные волокна, как и отрицательно заряженные целлюлозные, способны электростатически взаимодействовать с проклеивающими комплексами. Для таких дисперсных систем достигаются следующие значения:  $SУ_в = 94\%$ ,  $SУ_{пк} = 70\%$  и  $C = 12$  мг/л.

Улучшение показателей  $SУ_в$ ,  $SУ_{пк}$  и  $C$  зависит от содержания КП в дисперсных системах и способов его применения, т. е. от последовательного дозирования химических веществ в волокнистые суспензии (целлюлозные и макулатурные). Исследованные три способа позволили повысить  $SУ_в$  от 94 до 97–98% (улучшение на 3–4%), увеличить  $SУ_{пк}$  от 70 до 82–96% (на 12–26%) и уменьшить  $C$  от 12 до 1–4 мг/л и более (в 3–12 раз).

Полученные результаты исследования (рис. 1–3) свидетельствуют о том, что дисперсные системы должны содержать строго определенное количество КП. При этом необходимо обеспечить рациональное его использование по конкретному способу. Выбор способа введения КП зависит от ассортимента бумаги и картона и требований, предъявляемых к их качеству ( $B$ ,  $СП$ ,  $РД$  и  $B_{вл}$ ). При этом важное значение имеют данные по изменению  $SУ_в$ ,  $SУ_{пк}$  и  $C$ .

Таким образом, особенностями применения КП при получении клееных видов бумаги и картона являются их способность участвовать не только в протекающих процессах флокуляции и структурообразования, но и в процессах коагуляции, пептизации, связеобразования, проклейки, гидрофобизации и упрочнения. Результаты исследования позволили сделать следующие основные выводы:

1) характер протекающих процессов зависит от способа применения и содержания КП в дисперсных системах, полученных при использовании модифицированного канифольного продукта (МКП), электролита ( $\mathcal{E}$ ) и КП; в работе изучены способы 1 (МКП –  $\mathcal{E}$  – КП), 2 (МКП – КП –  $\mathcal{E}$ ) и 3 (КП – МКП –  $\mathcal{E}$ );

2) способы применения и содержание КП в дисперсных системах (целлюлозных и макулатурных) влияют на комплекс показателей качества клееных видов бумаги и картона, включающий гидрофобность, прочность и влагопрочность, а также на степень удержания компонентов бумажных масс (волокон, проклеивающих комплексов и взвешенных веществ);

3) разработанные способы повышения эффективности применения сильноосновных КП в

бумажных массах (целлюлозных и макулатурных) основаны на управлении протекающими процессами коагуляции, пептизации, флокуляции, структурообразования, связеобразования, проклейки, гидрофобизации и упрочнения;

4) повышение гидрофобности и влагопрочности бумаги и картона, полученных в присутствии КП, основано на смещении процесса проклейки из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции; этому способствует получение дисперсных систем (целлюлозных и макулатурных) по способу 1 (МКП ( $R_1$ ) –  $\mathcal{E}$  ( $R_2$ ) – КП ( $R_3$ )), когда соотношение  $R_1 : R_2 : R_3$  составляет 1,00 : (0,8–1,2) : (0,01–0,02);

5) формированию мелкодисперсных положительно заряженных проклеивающих комплексов способствуют коллоидно-химические взаимодействия, протекающие между частицами дисперсной фазы МКП и положительно заряженными формами гидроксосоединений алюминия ( $Al(H_2O)_6^{3+}$ ,  $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$  и  $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$ ), введенными в дисперсную систему с раствором электролита (сульфата алюминия); присутствующий в дисперсной системе КП обеспечивает протекание дополнительного процесса пептизации, положительное влияние на процессы структурообразования и связеобразования;

6) эффективность использования КП зависит от способов его введения в дисперсные системы; они располагаются в следующей упорядоченной убывающей последовательности: способ 1 – способ 2 – способ 3;

7) применение КП в бумажных массах (целлюлозных и макулатурных) по способу 1 (МКП –  $\mathcal{E}$  – КП) позволяет уменьшить необходимость его содержания в дисперсных системах следующим образом: от 0,05–0,06 (существующая технология) до 0,01–0,02% от а. с. в. (разработанная технология);

8) присутствие КП в проклеенных бумажных массах обеспечивает улучшение удержания присутствующих компонентов в структуре бумаги и картона за счет повышения степени удержания не только волокон от 94 до 97–98%, но и проклеивающих комплексов от 70 до 82–96%; следствием этого является снижение содержания взвешенных веществ в оборотной воде в 3–12 раз, что свидетельствует о повышении экологической безопасности технологического процесса получения клееных видов бумаги и картона;

9) качество клееных видов бумаги и картона, полученных по разработанному способу 1, улучшается по сравнению с известными аналогами (существующая технология), о чем свидетельствуют высокая степень гидрофобности, повышение прочности на 18–25% и улучшение влагопрочности в 1,7–2,7 раза.



## 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 гидросокомообразования // 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, Geocology, 2024, no. 1 (277), pp. 36–42 (In Russian).

#### Информация об авторах

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

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

Поступила 15.11.2024