

environment and humans. Therefore, over the past decade, there has been an active search for alternative raw materials, production technologies and methods of disposal of packaging. At the same time, it should be noted that every year the deficit of oil and gas, from which many synthetic polymers are produced, is gradually growing.

One of these "alternative" materials are biopolymers, which are divided into bio-based and biodegradable. The first involve obtaining a monomer from natural raw materials, for example, ethylene, and then polymerizing the monomer into polyethylene, but for the second, the key aspect is the possibility of rapid decomposition of plastic in a natural environment within a short time. The production of biopolymers increases every year and continues to grow. The spheres of their application are quite extensive.

Today, the most common biopolymers in the packaging industry are biodegradable plant-based polylactide and starch, and polybutyrate adipinterephthalate, polybutyl succinate, polyhydroxybutyrate and other petroleum-based polyhydroxyalconates.

There is also growing interest in paper-based multilayer packaging, in which biopolymer-based coatings will be used instead of synthetic coatings.

In this work, we investigated the physicochemical and surface properties of sack paper samples coated with biodegradable polymers.

**Keywords:** *packaging industry, polymers, biopolymers, multilayer packaging, sack paper, physical and mechanical surface properties.*

### References

1. Bychuk M. A. *Obtaining and properties of polymer films based on poly-3-hydroxybutyrate and poly-ε-caprolactone*: dis. Cand. tech. Sciences 05.21.03. Moscow, 2016, 169 p. (In Russian).
2. Yusova A. A., Gusev I. V., Lipatova I. M. Properties of hydrogels based on mixtures of sodium alginate with other polysaccharides of natural origin. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2014, no. 4, pp. 59–66. (In Russian).

УДК 676.262.014  
ГРНТИ 66.45.33

### РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ГИДРОФОБНОСТИ И ПРОЧНОСТИ БУМАГИ И ПЕЧАТНЫХ СВОЙСТВ МЕЛОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ

Н. В. Черная, Т. В. Чернышева, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс\*, С. В. Карпова, О. А. Мисюров  
*Белорусский государственный технологический университет, Минск*  
*E-mail: uss@belstu.by*

Статья посвящена дальнейшему развитию двух направлений в области теории и технологии клееных (первое направление) и мелованных (второе направление) видов бумаги и картона. Установлено, что одновременное улучшение гидрофобности (на 25–31 %) и прочности (в 1,2–1,5 раза) бумаги достигается за счет замены традиционного процесса канифольной проклейки в режиме гомокоагуляции на более эффективный режим гетероадагуляции благодаря снижению размеров проклеивающих комплексов (от 4500–6000 до 190–200 нм) и повышению их электрокинетического потенциала (от –20...+20 до +35...+50 мВ). Дополнительное использование слабоосновного катионного полиэлектролита (полиамидполиаминэпихлоргидриновой смолы) способствует получению коагулятов, способных пептизироваться в присутствии электролита. Последующее мелование бумаги способствует повышению ее печатных свойств (белизны на 1–2 %, гладкости на 4–8 % и стойкости поверхности к выщипыванию на 12–20 %) за счет использования 3,2 мас. ч. нового синтетического «связующего» (модифицированного карбамидоформальдегидного олигомера) вместо 4,7 мас. ч. комплекса природных соединений (модифицированного крахмала, натрийкарбоксиметилцеллюлозы и казеинового клея).

*Ключевые слова:* коагуляты, пептизированные частицы, гомокоагуляция, гетероадагуляция, меловальная паста, связующие, адгезионные взаимодействия.

Современная тенденция развития целлюлозно-бумажного производства характеризуется необходимостью улучшения качества бумаги и повышения ее конкурентоспособности. Важную роль в технологии клееных видов бумаги играют химические вещества [1–3], используемые для гидрофобизации, упрочнения и флокуляции, а в технологии мелования [4] – соединения, оказывающее «связующее» действие на пигменты в меловальных пастах.

В технологии клееных видов бумаги нерешенной научной проблемой является проблема смещения процесса канифольной проклейки из традиционного режима гомокоагуляции (существующая технология) в более эффективный режим гетероадагуляции (предлагаемая технология). К перспективным способам решения этой проблемы относится, по нашему мнению [5], способ, основанный на повышении дисперсности и электрокинетического потенциала проклеивающих комплексов, а также на обеспечении равномерности их распределения монослоем и прочности фиксации на волокнах благодаря улучшению электростатических взаимодействий с отрицательно заряженными активными центрами волокон. Последующая термообработка клееных видов бумаги сопровождается образованием на поверхности волокон гидрофобного слоя. Повышению гидрофобности бумаги и максимальному сохранению (или увеличению) ее первоначальной прочности способствует формирование на поверхности волокон равномерного однородного тонкого гидрофобного слоя [6]. Такой слой можно получить путем повышения дисперсности и электрокинетического потенциала проклеивающих комплексов, роль которых выполняют мелкодисперсные положительно заряженные пептизированные частицы.

В технологии мелования бумаги нерешенной проблемой является проблема повышения адгезионных взаимодействий между частицами пигментов, присутствующих в нанесенном мелованном покрытии, и поверхностью бумаги-основы, содержащей в своей структуре проклеивающие комплексы. Одним из способов решения этой проблемы является замена в меловальной пасте комплекса природных соединений на одно разработанное нами синтетическое (модифицированный карбамидормальдегидный олигомер) [7, 8].

Цель исследования – разработка способов одновременного улучшения качества клееной и мелованной бумаги на основе изучения эффективности процессов гомокоагуляции, гетероадагуляции и мелования.

Исследования проводили в два этапа.

На первом этапе изучали эффективность процессов гомокоагуляции и гетероадагуляции. Для этого изготавливали и испытывали клееные образцы бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$ ), полученные из первичных (целлюлоза) и вторичных (макулатура) волокнистых полуфабрикатов. Волокнистые суспензии имели концентрацию 1 % и степень помола  $40^\circ \text{ШР}$ . В отобранные пробы суспензий вводили химические вещества: 5 %-ную высокосмоляную канифольную эмульсию в количестве 3 % от абсолютно сухого волокна, что составляло 1 ч.; 0,001 %-ный раствор слабоосновного катионного полиэлектролита и 0,1 %-ный раствор электролита. Способ применения двух последних соединений и их содержание в проклеенной волокнистой суспензии зависело от режимов проклейки (гомокоагуляции и гетероадагуляции). Клееные образцы бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$ ) изготавливали на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten». Их качество характеризовали гидрофобностью и прочностью путем определения впитываемости при одностороннем смачивании (ГОСТ 12606-82Е) и разрывной длины (ГОСТ 13525.1-79) соответственно.

На втором этапе изучали эффективность процесса мелования образцов бумаги, проклеенных в режимах гомокоагуляции (существующая технология) и гетероадагуляции (предлагаемая технология). Меловальные пасты наносили на поверхность бумаги в количестве  $10 \text{ г/м}^2$  с использованием моделирующей установки. Печатные свойства мелованных образцов бумаги характеризовали такими показателями, как белизна

(ISO 2470-19), гладкость (ISO 8791-4-1992) и стойкость поверхности к выщипыванию (ISO 3783-1980). Дополнительно для них определяли массовую (ISO 536-1995) и толщину (ISO 534-2005).

### Результаты и их обсуждение

*Первый этап.* Содержание полиэлектролита и электролита в волокнистых суспензиях (целлюлозных и макулатурных) изменяли в зависимости от способа их применения и вида получаемых проклеивающих комплексов:

- по существующей технологии (режим гомокоагуляции): канифольная эмульсия (1,00 ч.) – электролит (3,00 ч.) – катионный полиэлектролит (0,05 ч.); проклеивающие комплексы представляли собой крупнодисперсные коагуляты, имеющие размер  $4500 \leq d_k \leq 6000$  нм и электрокинетический потенциал в диапазоне  $-20 \leq \xi_k = +20$  мВ;
- по предлагаемой технологии (режим гетероадагуляции): канифольная эмульсия (1,00 ч.) – катионный полиэлектролит (0,01 ч.) – электролит (0,80 ч.); проклеивающие комплексы представляли собой мелкодисперсные (средний диаметр  $190 \leq d_n \leq 200$  нм) положительно заряженные (электрокинетический потенциал  $\xi_n = +50$  мВ) пептизированные частицы.

Получено, что в исходной канифольной эмульсии присутствовали частицы дисперсной фазы, имеющие средний диаметр  $d_0 = 190$  нм и отрицательный электрокинетический потенциал ( $\xi_0$ ), который составлял  $-25$  мВ. Установлено, что размер пептизированных частиц ( $d_n$ ) максимально приближается к размеру частиц дисперсной фазы исходной эмульсии ( $d_0$ ), т. е. выполняется условие  $d_n \approx d_0$ . Пептизированные и исходные частицы отличаются электрокинетическим потенциалом. При этом положительно заряженные пептизированные частицы ( $\xi_n = +50$  мВ), в отличие от исходных ( $\xi_0 = -25$  мВ), способны к электростатическому взаимодействию с отрицательно заряженными активными центрами волокон. Особенностью процессов проклейки по существующей и предлагаемой технологиям является принципиальное отличие размеров и электрокинетического потенциала проклеивающих комплексов. Это оказывает существенное влияние на качество бумаги (рис. 1), характеризующее гидрофобностью и прочностью. Установлено, что гидрофобность образцов бумаги (рис. 1, а), изготовленных из целлюлозной (1 и 2) и макулатурной (3 и 4) суспензий, существенно зависит от режимов проклейки. Присутствие в проклеенной суспензии коагулятов, когда процесс проклейки протекает в режиме гомокоагуляции (1 и 3) (существующая технология), приводит к тому, что впитываемость при одностороннем смачивании достигает 24 и 29 г/м<sup>2</sup> при использовании целлюлозных (1) и макулатурных (3) суспензий соответственно.

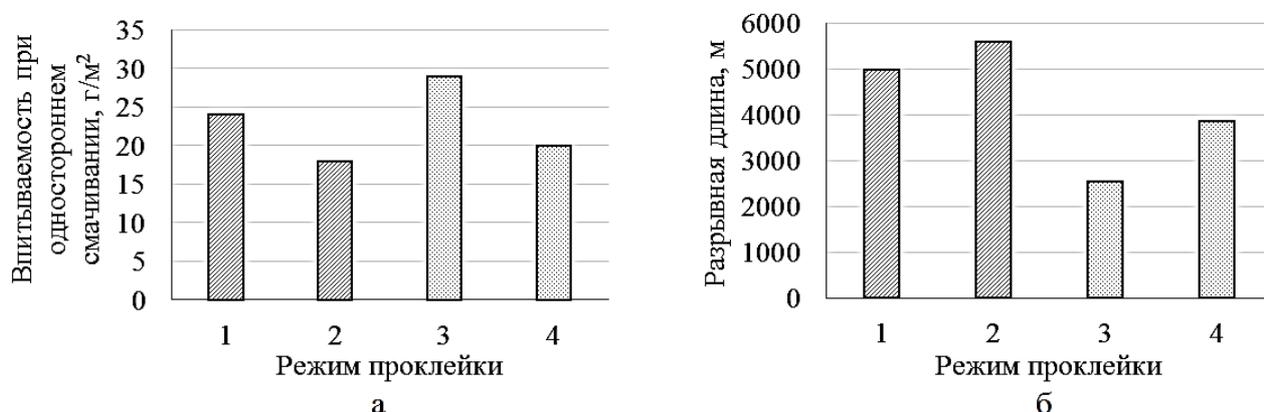


Рисунок 1 – Впитываемость при одностороннем смачивании (а) и разрывная длина (б) образцов бумаги в зависимости от режимов проклейки целлюлозной (1 и 2) и макулатурной (3 и 4) суспензий: 1 и 3 – режим гомокоагуляции; 2 и 4 – режим гетероадагуляции

Смещение процесса проклейки из существующего режима гомокоагуляции (1 и 3) в предлагаемый режим гетероадагуляции (2 и 4) позволяет уменьшить этот показатель до 18 и

20 г/м<sup>2</sup> для целлюлозных (2) и макулатурных (4) суспензий, соответственно, что свидетельствует о повышении гидрофобности образцов бумаги на 25 и 31 % соответственно.

Улучшение гидрофобности образцов бумаги можно объяснить тем, что пептизированные частицы (предлагаемая технология) в отличие от коагулятов (существующая технология) равномерно распределяются монослоем и прочно фиксируются на поверхности волокон. Поэтому эффективность процесса проклейки в режиме гетероадагуляции повышается на 25–31 % по сравнению с режимом гомокоагуляции. В связи с этим предлагается изменить последовательность введения в волокнистые суспензии химических веществ (катионного полиэлектролита и электролита) и обеспечить соотношение канифольная эмульсия : катионный полиэлектролит : электролит = 1,00 : 0,01 : 0,80, в то время как по существующей технологии выполняется условие канифольная эмульсия : электролит : катионный полиэлектролит = 1,00 : 3,00 : 0,05.

Установлено, что прочность образцов бумаги (рис. 1, б) зависит от вида используемых волокнистых полуфабрикатов и от режимов проклейки полученных из них волокнистых суспензий. Получено, что проклеенные целлюлозные суспензии (1 и 2) позволяют повысить прочность образцов бумаги по сравнению с макулатурными (3 и 4) от 2550–3850 до 4980–5600 м, то есть в 1,5–2,0 раза. При этом смещение процесса проклейки из режима гомокоагуляции (1 и 3) в режим гетероадагуляции (2 и 4) позволяет не только сохранить первоначальную прочность бумаги (без проклейки), но и улучшить ее на 12–50 %. Об этом свидетельствует увеличение разрывной длины образцов бумаги от 4980 до 5600 м (в 1,2 раза), полученных из целлюлозных суспензий (1 и 2), и от 2550 до 3850 м (в 1,5 раза), изготовленных из макулатурных суспензий (3 и 4). Одной из основных причин достигнутого положительного эффекта является сближение волокон на расстояние, при котором формируются межволоконные связи, благодаря которым бумага приобретает необходимую прочность. Поэтому можно считать, что коагуляты (существующая технология) препятствуют сближению волокон и формированию межволоконных связей в структуре бумаги, а пептизированные частицы (предлагаемая технология), наоборот, способствуют связеобразованию и, следовательно, повышению прочности бумаги.

Результаты исследования (рис. 1, б) свидетельствуют о практической возможности не только компенсации потери первоначальной прочности образцов клееной бумаги и дополнительного ее повышения в 1,2–1,5 раза за счет управления процессом проклейки не только в целлюлозных, но и в макулатурных суспензиях путем смещения существующего режима гомокоагуляции в предлагаемый режим гетероадагуляции. При этом исчезает необходимость специального применения упрочняющих веществ, что упрощает технологию получения клееных видов бумаги и способствует снижению их себестоимости. Полученные данные не противоречат, а наоборот, дополняют общепринятую теорию упрочнения бумаги.

Следовательно, улучшению гидрофобности (на 25–31 %), прочности (в 1,2–1,5 раза) образцов бумаги способствует снижение размеров проклеивающих комплексов от 4500–6000 до 190–200 нм и повышение их электрокинетического потенциала от –20...+20 до +50 мВ.

*Второй этап.* Рецептúra исследуемой меловальной пасты отличалась от стандартной [4] видом и количеством присутствующих «связующих». В качестве последних использовали синтезированный нами модифицированный карбамидоформальдегидный олигомер (3,2 мас. ч.) [7] (предлагаемая технология) вместо традиционного комплекса природных соединений (4,7 мас. ч.) [4], включающего окисленный крахмал (2,0 мас. ч.), натрийкарбоксиметилцеллюлозу (0,7 мас. ч.) и казеиновый клей (2,0 мас. ч.). Приготовленную меловальную пасту наносили на образцы бумаги, изготовленные из целлюлозной и макулатурной суспензий и проклеенные в режимах гомокоагуляции (существующая технология) и гетероадагуляции (предлагаемая технология). Получено, что образцы мелованной бумаги имели одинаковую толщину и массоемкость. При этом они обладали сопоставимыми печатными свойствами: белизна превышала 86 % (норма – не менее 85 %) и гладкость находилась в пределах 260–270 с (норма – не менее 250 с). Однако

они существенно отличались по такому основному печатному свойству, как стойкость поверхности к выщипыванию (рис. 2).

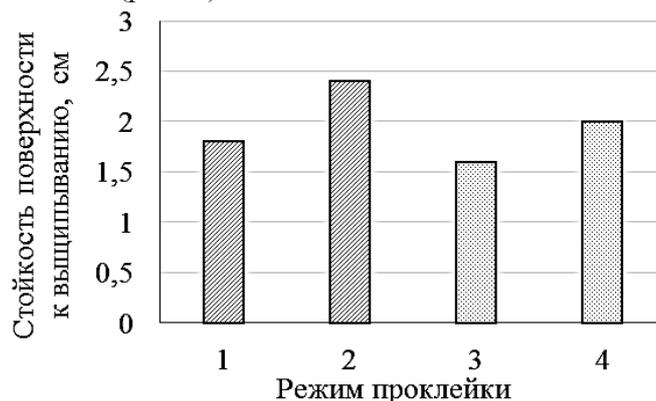


Рисунок 2 – Стойкость поверхности к выщипыванию мелованных образцов бумаги в зависимости от режимов проклейки целлюлозной (1 и 2) и макулатурной (3 и 4) суспензий: 1 и 3 – режим гомокоагуляции; 2 и 4 – режим гетероадагуляции

Сопоставительный анализ данных, представленных на рисунке 2, свидетельствует о преимуществах мелованных образцов бумаги, проклеенных в режиме гетероадагуляции (2 и 4), по сравнению с образцами, проклеенными в режиме гомокоагуляции (1 и 3). Установлено, что стойкость поверхности к выщипыванию увеличивается от 1,8 до 2,4 см для целлюлозных образцов (1 и 2) и от 1,6 до 2,0 см для макулатурных образцов (3 и 4). Обнаруженные положительные эффекты повышаются в 1,25–1,33 раза при смещении процесса проклейки волокнистых суспензий из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции.

Улучшению стойкости поверхности к выщипыванию мелованных образцов бумаги способствовали, во-первых, изменение структуры бумаги-основы и, во-вторых, использование в меловальной пасте нового синтетического «связующего» вместо комплекса природных соединений. Одной из основных причин повышения этого показателя является присутствие в новом соединении амидных и аминных групп, участвующих в когезионных взаимодействиях с частицами пигментов и усиливающих адгезионное взаимодействие между ними и поверхностью бумаги-основы. Следовательно, присутствие в меловальной пасте синтетического «связующего» не ухудшает свойства мелованных образцов бумаги, а, наоборот, улучшает их белизну на 1–2 %, гладкость на 4–8 % и стойкость поверхности к выщипыванию на 12–20 %.

### Выводы

1. Улучшению гидрофобности (на 25–31 %) и прочности (в 1,2–1,5 раза) бумаги способствует смещение процесса проклейки из традиционного режима гомокоагуляции (существующая технология) в более эффективный режим гетероадагуляции (предлагаемая технология) за счет снижения размеров проклеивающих комплексов (от 4500–6000 до 190–200 нм) и повышения их электрокинетического потенциала (от –20...+20 до +50 мВ). Новые проклеивающие комплексы в виде мелкодисперсных положительно заряженных пептизированных частиц в отличие от коагулятов равномерно распределяются монослоем и прочно фиксируются на волокнах (целлюлозных и макулатурных). Присутствующий слабоосновной катионный полиэлектролит участвует не только в процессе флокуляции, но и в процессе образования коагулятов, способных пептизироваться.
2. Разработанный способ пептизации и получения пептизированных частиц основан на протекании двух последовательных процессов: 1) получение коагулятов, способных пептизироваться; для этого в волокнистую суспензию, содержащую канифольную эмульсию (1,00 ч.), дозируют слабоосновной катионный полиэлектролит (0,01 ч.); процесс коагуляции протекает не во второй области (существующая технология, когда расход

электролита составляет 3,00 ч.), а в обнаруженной нами первой области; 2) пептизация коагулятов происходит в присутствии электролита (0,80 ч.).

3. Повышению печатных свойств мелованных образцов бумаги (белизны на 1–2 %, гладкости на 4–8 % и стойкости поверхности к выщипыванию на 12–20 %) способствуют изменения не только структуры бумаги-основы, но и рецептуры меловальной пасты (вместо комплекса природных «связующих» применяют одно синтетическое соединение – модифицированный карбамидоформальдегидный олигомер).

#### Список литературы

1. Хованский В. В., Дубовый В. К., Кейзер П. М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2013. 151 с.
2. Остапенко А. А. и др. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 187–190.
3. Мишурина О. А., Ершова О. А. Способы гидрофобизации и упрочнения композиционных целлюлозных материалов из вторичного сырья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10. С. 363–366.
4. Бондарев А. И. Производство бумаги и картона с покрытием. М.: Лесная промышленность, 1985. 192 с.
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. Chernaya N. V., Fleisher V. L., Zholnerovich N. V. The creation and implementation of the resource-conserving technology of paper and paperboard sizing with hydro-dispersions of modified rosin in mode of hetero-adagulation of peptized particles // PNRPU. Appliedecology. Urbandevelopment, 2017. no. 2. Pp. 87–101. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.08.
7. Патент РБ 23441. МПК D 21H 17/50, C 08 G 12/12, C 08 G 12/40. Способ получения упрочняющей добавки для изготовления бумаги / В. Л. Флейшер, Н. В. Черная, Е. П. Шишаков, Т. В. Чернышева; патентообладатель: БГТУ. Заявлено 22.12.2018.; опубл. 30.08.2020.
8. Карпова С. В., Черная Н. В. Изучение свойств мелованной бумаги при замене природного связующего на новое синтетическое // Химия и химическая технология переработки растительного сырья: материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., (Минск, 10–12 октября 2018 г.). Минск: БГТУ, 2018. С. 187–191.

#### **DEVELOPMENT OF IMPROVING HYDROPHOBICITY AND STRENGTH OF PAPER AND PRINTING PROPERTIES OF COATED PRODUCTS**

N. V. Chernaya, T. V. Chernysheva, Zh. S. Shashok, E. P. Uss\*, S. V. Karpova, O. A. Misyurov  
*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*  
*E-mail: uss@belstu.by*

The article is devoted to the further development of two directions in the field of theory and technology of glued (first direction) and coated (second direction) types of paper and cardboard. It was found that simultaneous improvement of paper hydrophobicity (by 25–31 %) and strength (by 1.2–1.5 times) is achieved by replacing the traditional rosin sizing process in the homocoagulation mode with a more efficient heteroadagulation mode due to a decrease in the size of the sizing complexes (from 4500–6000 to 190–200 nm) and an increase in their electrokinetic potential (from –20 ... + 20 to + 35 ... + 50 mV). The additional use of a weakly basic cationic polyelectrolyte (polyamide-polyamine-epichlorohydrin resin) promotes the production of coagulates capable of peptizing in the presence of an electrolyte. Subsequent coating of the paper helps to increase its printing properties of paper (whiteness by 1–2 %, smoothness by 4–8 % and surface resistance to

plucking by 12–20 %) due to the use of 3.2 parts by weight including a new synthetic "binder" (modified urea-formaldehyde oligomer) instead of 4.7 parts by weight including a complex of natural compounds (modified starch, sodium carboxymethyl cellulose and casein glue).

**Keywords:** coagulates, pregelatinized particles, homocoagulation, heteroadagulation, coating paste, binders, adhesive interactions.

### References

1. 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]. Sankt-Peterburg, SPbGTURP Publ., 2013, 151 p. (In Russian).
2. Ostapenko A. A., Moroz V. N., Barbash V. A., Kozhevnikov S. Yu., Dubovyy V. K., Koverninskiy I. N. Povysheniye kachestva bumagi iz makulatury khimicheskimi funktsional'nymi veshchestvami [Improving the quality of paper from waste paper by chemical functional substances]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2012, no. 1, pp. 187–190. (In Russian).
3. Mishurina O. A., Yershova O. A. Sposoby gidrofobizatsii i uprochneniya kompozitsionnykh tsellyuloznykh materialov iz vtorichnogo syr'ya [Methods of hydrophobization and hardening of composite cellulose materials from secondary raw materials]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, no. 10, pp. 363–366. (In Russian).
4. Bondarev A. I. *Proizvodstvo bumagi i kartona s pokrytiyem* [Manufacture of coated paper and board]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985, 192 p. (In Russian).
5. Chernaya N. V. Kontseptual'noye razvitiye teorii i tekhnologii prokleyki bumagi i kartona gidrodispersii modifitsirovannoy kanifoli v rezhime geteroadagulyatsii peptizirovannykh chastits [Conceptual development of the theory and technology of gluing paper and cardboard of hydrodispersion 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. Chernaya N. V., Fleisher V. L., Zholnerovich N. V. The creation and implementation of the resource-conserving technology of paper and paperboard sizing with hydrodispersions of modified rosin in mode of heteroadagulation of peptized particles. *PNRPU. Appliedecology. Urbandevelopment*, 2017, no. 2, pp. 87–101. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.08.
7. Fleisher V. L., Chernaya N. V., Shishakov E. P., Chernysheva T. V. *Sposob polucheniya uprochnyayushchey dobavki dlya izgotovleniya bumagi* [Method of obtaining a hardening additive for paper making]. Patent RB no. 23441, 2018. (In Russian).
8. Karpova S. V., Chernaya N. V. Izucheniye svoystv melovannoy bumagi pri zamene prirodnogo svyazuyushchego na novoye sinteticheskoye [Studying the Properties of Coated Paper when Replacing a Natural Binder with a New Synthetic]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya pererabotki rastitel'nogo syr'ya: materialy dokladov Mezhdunar. nauchnotekhn. konf.* [Chemistry and Chemical Technology of Plant Raw Material Processing: Proc. Int. Science and Technology Conf.]. Minsk, BSTU Publ., 2018, pp. 187–191. (In Russian).