УДК 676.2.017.4:678.675

Я. В. Боркина
Белорусский государственный технологический университет

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИАМИДНОЙ СМОЛЫ В ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА

Модифицированная полиамидная смола представляет собой продукт, полученный ацилированием полиамида канифольно-малеиновым аддуктом с последующей его нейтрализацией и применяемый для проклейки и упрочнения бумаги и картона.

Установлено, что гидрофобизирующее и упрочняющее действие модифицированной полиамидной смолы зависит от вида волокнистой суспензии и способа ее применения в бумажных массах. Особенность использования модифицированной полиамидной смолы заключается в ее высокой эффективности для улучшения гидрофобности и физико-механических свойств бумаги и картона, изготовленных из макулатурных суспензий, по сравнению с целлюлозными. Предпочтительным является последовательное введение в макулатурную суспензию модифицированной полиамидной смолы в количестве 0,25% от абсолютно сухого волокна и полиоксихлорида алюминия (Аква-Аурат 18) до значений pH бумажных масс, равных 6,5–7,2, на что указывали снижение впитываемости при одностороннем смачивании образцов бумаги (элементарных слоев картона) до 18 г/м^2 и повышение их разрывной длины до 4900 м, что на 80,9% и 19,5% выше соответствующих показателей качества образцов, изготовленных без применения химических вспомогательных веществ.

Апробация модифицированной полиамидной смолы при изготовлении картона для гильз (марка КГ) в производственных условиях ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» позволила полностью заменить импортное проклеивающее вещество (канифольная дисперсия Fennosize RS KN 12A), снизить его расход на 56,1% и улучшить гидрофобность и физико-механические свойства продукции на 10,8 и 7,9–10,2% соответственно.

Ключевые слова: модифицированная полиамидная смола, бумага, картон, гидрофобность, прочность.

Для цитирования: Боркина Я. В. Особенности применения модифицированной полиамидной смолы в технологии бумаги и картона // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии и геоэкология. 2025. № 2 (295). С. 116–127.

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-15.

Ya. V. Borkina
Belarusian State Technological University

FEATURES OF APPLICATION OF MODIFIED POLYAMIDE RESIN IN PAPER AND CARDBOARD TECHNOLOGY

The article considers features of application of modified polyamide resin in paper and cardboard technology. Modified polyamide resin is a partially neutralized product of polyamide acylation with rosin-maleic adduct, used for sizing and strengthening paper and cardboard.

It was found that the hydrophobic and strengthening effect of modified polyamide resin depends on the type of fibrous suspension and the method of its application in paper pulps. The feature of application of modified polyamide resin is its high efficiency for improving hydrophobic and physicomechanical properties of paper and cardboard made from waste paper suspensions, compared to cellulose ones. It is preferable to sequentially introduce into the waste paper suspension a modified polyamide resin in an amount of 0.25% of absolutely dry fiber and aluminum polyoxychloride (Aqua-Aurat 18) to the pH values of the paper pulp equal to 6.5–7.2, which was indicated by a decrease in absorbency during one-sided wetting of paper samples (elementary layers of cardboard) to 18 g/m^2 and an increase in their breaking length to 4900 m, which is 80.9 and 19.5% higher than the corresponding quality indicators of samples manufactured without the use of chemical auxiliary substances. During testing of the modified polyamide resin in the production of cardboard for tubes (grade KG) in the production conditions of JSC Slonim Cardboard and Paper Mill Albertin, the imported sizing agent (Fennosize RS KN 12A) was completely replaced, its consumption was reduced by 56.1% and the hydrophobic and physical and mechanical properties of the products were improved by 10.8 and 7.9–10.2%, respectively.

Keywords: modified polyamide resin, paper, cardboard, hydrophobicity, strength.

For citation: Borkina Ya. V. Features of application of modified polyamide resin in paper and cardboard technology. *Proccedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 2 (295), pp. 116–127 (In Russian).
DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-15.

Введение. Наиболее эффективным и экономически оправданным способом повышения качества бумаги и картона из вторичного сырья является применение химических вспомогательных веществ (ХВВ) при их изготовлении. Современным ХВВ присуще наличие поверхностного заряда. Исходя из этого протекающие процессы представляют собой совокупность электростатических взаимодействий. В настоящее время для улучшения качества бумаги и картона в производственных условиях главным образом используются ХВВ катионного типа, что обусловлено несколькими причинами:

– во-первых, возможностью их адсорбции и фиксации на поверхности отрицательно заряженных целлюлозных волокон и, как следствие, увеличением степени их удержания в структуре бумаги и картона;

– во-вторых, переходом к нейтральному способу производства бумаги и картона, явившимся причиной проблемы катионной потребности.

Среди применяемых ХВВ на целлюлозно-бумажных предприятиях особое значение имеют канифольные проклеивающие материалы (канифольные дисперсии Fennosize RS KN 12A, Hi-pHase 40T AP), упрочняющие (катионные крахмалы Hi-Cat 5283A, полиакриламид и его производные Fennostrenght PA 13, Fennobond 3300E, полиамидаминэпихлоргидридные смолы Melapret PAE/A), алюминийсодержащие электролиты (полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 18) и удерживающие (Superfloc C-496) вещества. Указанные вещества различаются механизмом и характером взаимодействия с волокнами, при этом упрочняющие часто применяются в качестве средств удержания проклеивающих материалов.

Эффект гидрофобизации бумаги и картона канифольными дисперсиями (например, Fennosize RS KN 12A, Hi-pHase 40T AP) достигается за счет распределения и плавления частиц дисперсной фазы, осажденных на волокнах в результате изменения заряда под действием электролита. При этом весомый вклад в достигаемый результат вносят резинаты алюминия, обладающие высокой гидрофобизирующей способностью и образующиеся в результате реакции между анионами резинатов и осажденными на волокнах ионами гидроксоалюминия [1–3].

Упрочняющие вещества (Hi-Cat 5283A), в большинстве своем представляющие полиэлектролиты (высокомолекулярные соединения, в структуре макромолекул которых присутствуют ионогенные группы, способные к диссоциации [4]), осаждаются на волокнах, сообщая им положительный заряд. Прочность бумаги и картона повышается в результате электростатического взаимодействия адсорбированных на волокнах высокомолекулярных соединений и/или противоположно заряженных участков волокон [5].

Свойство влагопрочности бумаге и картону придают влагопрочные (термореактивные) смолы (Melapret PAE/A), адсорбируясь и образуя на волокнах сетчатые полимеры, препятствующие воздействию на них воды за счет реакции между собой или с волокнами [6].

Удерживающие и фиксирующие средства (Superfloc C-496), обладая механизмом действия, подобным упрочняющим веществам, обеспечивают адсорбцию частиц проклеивающих веществ на отрицательно заряженных волокнах и прочную фиксацию образующихся комплексов [7–9].

Названные особенности применения известных химических вспомогательных веществ позволяют сделать вывод о том, что эффективное повышение качества бумаги и картона достигается при совместном использовании гидрофобизирующего и упрочняющего (удерживающего) веществ.

В связи с этим перспективным способом повышения качества макулатурных видов бумаги и картона является использование при их изготовлении бифункциональных веществ, т. е. проявляющих одновременно несколько функциональных действий и представляющих собой, как правило, сополимеры смоляных кислот канифоли или их производных, дикарбоновых кислот и полиэтиленполиаминов. К таким веществам относится разработанная на кафедре химической переработки древесины Белорусского государственного технологического университета модифицированная полиамидная смола [10], полученная ацилированием полиамида канифольно-малеиновым аддуктом с последующей нейтрализацией образующегося продукта. Отличительной особенностью нового функционального вещества является многокомпонентность состава, представленного преимущественно ацилированными полиамидами на основе адипиновой кислоты и диэтилентриамина, резинатами и малеопимаратом натрия и свободными смоляными кислотами. Наличие в композиционном составе модифицированной полиамидной смолы резинатов и малеопимарата натрия и относительно высокий отрицательный заряд дисперсной системы (–51,89 мВ) обусловливают необходимость использования электролитов, обеспечивающих ее осаждение и фиксацию на поверхности макулатурных волокон.

Установлено [11], что модифицированная полиамидная смола является полиамфолитом и вместе с тем в присутствии алюминийсодержащих электролитов подвергается коагулированию в интервале pH, равном 6,10–9,62, с образованием проклеивающих комплексов сложного состава, причем наибольшей эффективностью по отношению к разработанному ХВВ обладает полиоксихлорид алюминия. Благодаря этому, модифицированная полиамидная смола проявляет эффективное гидрофобирующее и упрочняющее действие на бумажные массы в диапазоне pH, равном 5,8–7,2.

Поскольку эффективность действия ХВВ определяется их строением и взаимодействием с другими компонентами бумажных масс [3], научный и практический интерес представляло изучение влияния порядка введения модифицированной полиамидной смолы и полиоксихлорида алюминия в волокнистые суспензии на электрокинетические свойства бумажных масс, гидрофобность и физико-механические свойства бумаги и картона, что позволит разработать способ ее применения при их изготовлении.

Цель работы – установить особенности применения модифицированной полиамидной смолы (далее – смола) при изготовлении бумаги и картона в лабораторных и производственных условиях.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

– изучено влияние порядка введения смолы и полиоксихлорида алюминия в бумажные массы на их электрокинетические свойства, гидрофобность и прочность изготовленных из них образцов бумаги (элементарных слоев картона) в лабораторных условиях;

– установлены предпочтительные расход и порядок введения смолы и полиоксихлорида алюминия в бумажные массы, при которых обеспечивается улучшение гидрофобности и физико-механических свойств макулатурных видов бумаги и картона;

– апробирован способ проклейки и упрочнения бумажных масс смолой при изготовлении картона марки КГ в производственных условиях ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» (г. Слоним) и проведен сравнительный анализ гидрофобности и физико-механических свойств опытной и серийной партий продукции.

Основная часть. Бумажные массы, различающиеся порядком введения ХВВ и, следовательно, составом, в *лабораторных* условиях готовили из волокнистых суспензий, полученных путем роспуска в дезинтеграторе БМ-3 и размола на лабораторном ролле целлюлозы сульфатной беленой из лиственных пород древесины (далее – целлюлоза, ГОСТ 28172–89 «Целлюлоза сульфатная беленая из лиственных пород древесины. Технические условия») и макулатуры марки МС-5Б (далее – макулатура, ГОСТ 10700–97 «Макулатура бумажная и картонная. Технические условия») до степени помола волокон, равной 40 ± 2 °ШР. В приготовленные волокнистые суспензии добавляли модифицированную полиамидную смолу и электролит следующими способами, различающимися порядком введения ХВВ:

– способ 1 «целлюлоза + смола + электролит»;

– способ 2 «целлюлоза + электролит + смола»;

– способ 3 «макулатура + смола + электролит»;

– способ 4 «макулатура + электролит + смола».

Состав бумажных масс представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав бумажных масс

Виды составов бумажных масс		pH бумажной массы
Номер бумажной массы	Компоненты	
Состав 1	Целлюлоза	8,28
Состав 2	Целлюлоза + смола (0,25% от а. с. в.)	8,86
Состав 3	Целлюлоза + смола (0,25% от а. с. в.) + электролит (3,7 г Al_2O_3/г смолы)	7,25
Состав 4	Целлюлоза + электролит (3,7 г Al_2O_3/г смолы)	6,82
Состав 5	Целлюлоза + электролит (3,7 г Al_2O_3/г смолы) + смола (0,25% от а. с. в.)	6,97
Состав 6	Макулатура	8,60
Состав 7	Макулатура + смола (0,25% от а. с. в.)	8,54
Состав 8	Макулатура + смола (0,25% от а. с. в.) + электролит (3,7 г Al_2O_3/г смолы)	6,99
Состав 9	Макулатура + электролит (3,7 г Al_2O_3/г смолы)	6,80
Состав 10	Макулатура + электролит (3,7 г Al_2O_3/г смолы) + смола (0,25% от а. с. в.)	6,80

Смолу использовали в виде 1,0%-го водного раствора. Выбор количества смолы обусловлен экспериментальными данными, полученными ранее [12]. В качестве электролита использовали полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 18 (далее – электролит), подвергающийся в водной среде гидролизу и диссоциации (рис. 1), что обусловливает его высокий положительный заряд.

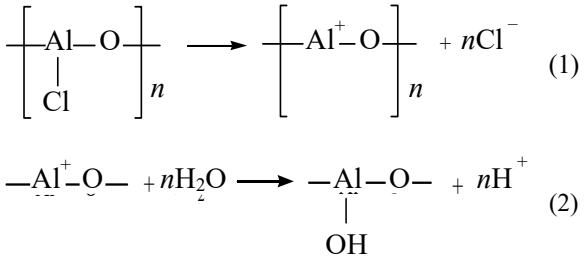


Рис. 1. Диссоциация и гидролиз полиоксихлорида алюминия в водной среде

Микроскопические исследования бумажных масс проводили с использованием микроскопа Optika Microscopy B-380Ti 40–1000 Trino Onfinity (Италия) с целью оценки характера распределения смолы и ее проклеивающих комплексов на поверхности волокон. Одновременно осуществляли контроль ξ-потенциала волокон и pH бумажных масс, применяя анализатор дзета-потенциала целлюлозных волокон FPA (AFG Analytic GmbH, Германия).

Из приготовленных бумажных масс получали образцы бумаги (элементарные слои картона) с массой 1 м^2, равной 80 г, на листоотливном аппарате Rapid-Ketten (Ernst Haage, Германия) с последующей термообработкой при температуре 125°C в течение 2 мин на скоростной сушке LABTECH SD24E (Labtech Instruments Inc., Канада).

Гидрофобность образцов бумаги (элементарных слоев картона) оценивали по впитываемости при одностороннем смачивании по ГОСТ 12605–97 (ИСО 535–91) «Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости при одностороннем смачивании (метод Кобба)» (продолжительность испытания – 30 с), физико-механические свойства характеризовали разрывной длиной (ГОСТ 13525.1–79 «Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении»). Характер распределения на волокнах и элементный состав проклеивающих комплексов изучали методом электронной микроскопии с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония). Степень удержания смолы в структуре бумаги определяли методами экстракции [13] и Кьельдаля [14].

В *производственных* условиях ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» при изготовлении картона для гильз марки КГ из макулатуры марок МС-5Б и МС-6Б использована опытно-промышленная партия смолы (товарный продукт ПроХим МРА с содержанием сухих веществ, равным 12,5%), выпущенная на оборудовании ООО «ПромХимТехнологии» (г. Смолевичи) в соответствии с ТР ПР 190526670.003–2023 [15], вместо импортной канифольной дисперсии Fennosize RS KN 12A (Финляндия). Составление композиции картона по волокну, роспуск и размол волокнистого сырья, формование, прессование и сушка полотна осуществлялись по принятой на предприятии технологии. Смолу и электролит дозировали по действующей на предприятии технологической схеме. Расходы ХВВ контролировали с учетом скорости картоноделательной машины № 1 (КДМ-1) и массы 1 м^2 выпускаемой продукции. Показатели качества опытной партии картона сравнивали с серийными партиями, изготовленными с использованием Fennosize RS KN 12A.

Исследования проводили в 2 этапа.

1. На *лабораторном* этапе изучали влияние последовательности введения смолы и электролита в макулатурные суспензии на свойства бумажных масс, характер распределения на волокнах и состав проклеивающих комплексов, гидрофобность и физико-механические свойства образцов бумаги (элементарных слоев картона).

2. На *производственном* этапе апробировали способ проклейки и упрочнения картона марки КГ, модифицированной полиамидной смолой, в условиях ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» и проводили сравнительный анализ свойств опытной и серийной партий продукции.

Лабораторный этап исследования. При введении смолы в целлюлозную суспензию (состав 1) ξ-потенциал волокон (рис. 2, *а*) изменялся от –24,9 до –22,6 мВ, что обусловлено ее адсорбцией на их поверхности (рис. 3). Это приводило к снижению впитываемости при одностороннем смачивании (рис. 2, *б*) образцов бумаги (элементарных слоев картона) от 87 до 78 г/м^2 (на 11,5%) и их разрывной длины (рис. 2, *в*) от 6450 до 6150 м (на 4,7%). Повышение ξ-потенциала волокон (рис. 2, *а*) от –22,6 до –6,1 мВ при введении электролита в бумажную массу состава 2 указывало на приближение системы к изоэлектрическому состоянию. При этом в бумажной массе состава 3

последовательно протекали электролитная коагуляция смолы и адсорбция образующихся проклеивающих комплексов на целлюлозных волокнах, на что указывало снижение впитываемости при одностороннем смачивании (рис. 2, *б*) образцов бумаги (элементарных слоев картона) от 78 до 42 г/м^2 (на 46,2%).

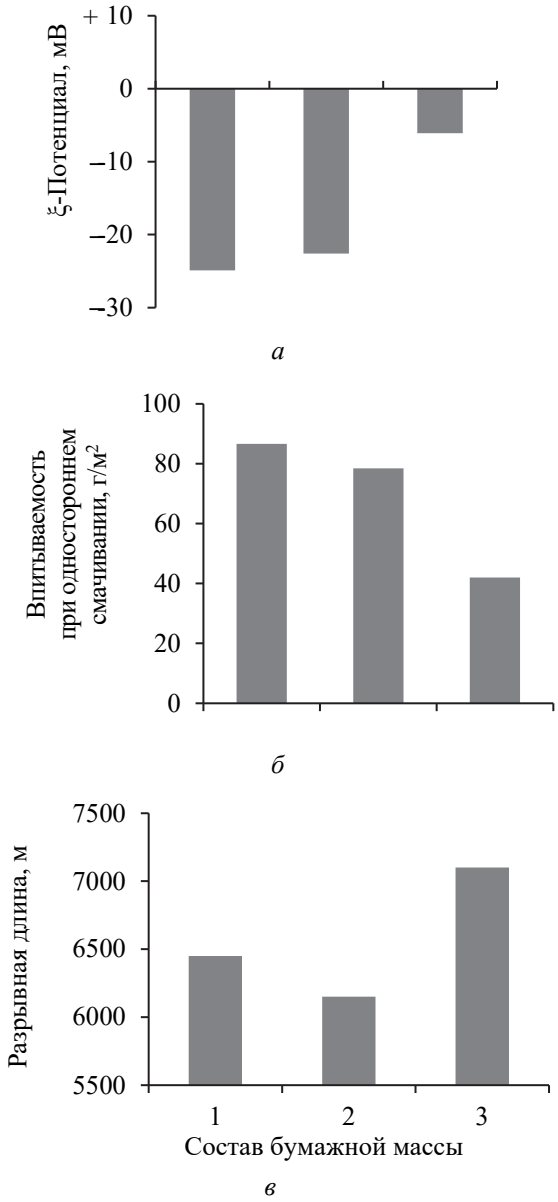


Рис. 2. Изменение ξ-потенциала волокон (*а*), гидрофобности (*б*) и физико-механических (*в*) свойств образцов бумаги (элементарных слоев картона), полученных из бумажных масс составов 1–3 по способу 1

Вместе с тем разрывная длина (рис. 2, *в*) образцов бумаги (элементарных слоев картона) значительно увеличивалась с 6150 до 7100 м (на 15,5%), что обусловлено присутствием в структуре проклеивающих комплексов положительно заряженных амино- и амидогрупп, способных к образованию дополнительных межволоконных связей. Отмечено, что распределение образующихся проклеивающих комплексов на поверхности целлюлозных волокон равномерно (рис. 3).

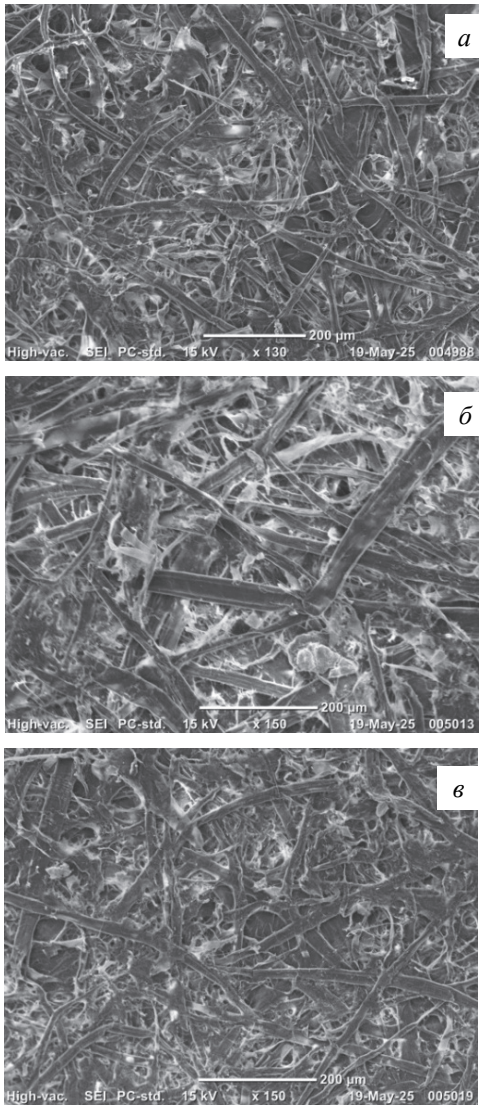


Рис. 3. Структура поверхности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из бумажных масс составов 1–3 (*а*–*в*) по способу 1, полученные методом электронной микроскопии (увеличение ×150)

При введении ХВВ в целлюлозные суспензии по способу 2 наблюдалось значительное ухудшение гидрофобизирующего и упрочняющего действий смолы. Изменение ξ-потенциала волокон (рис. 4, *а*) от –24,9 до –17,1 мВ обусловлено адсорбцией положительно заряженного электролита на их поверхности (рис. 5, *б*), что способствовало повышению разрывной длины (рис. 4, *в*) образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из бумажной массы состава 4, от 6450

до 6700 м (на 3,9%). Введение смолы в бумажную массу состава 4 приводило к снижению впитываемости при одностороннем смачивании (рис. 4, *б*) и разрывной длины (рис. 4, *в*) образцов бумаги (элементарных слоев картона) до 79 г/м^2 и 6600 м. Ухудшение эффективности действия смолы при применении в целлюлозных суспензиях по способу 2 связано, на наш взгляд, блокировкой активных центров (гидроксильных групп) целлюлозы макромолекулами электролита.

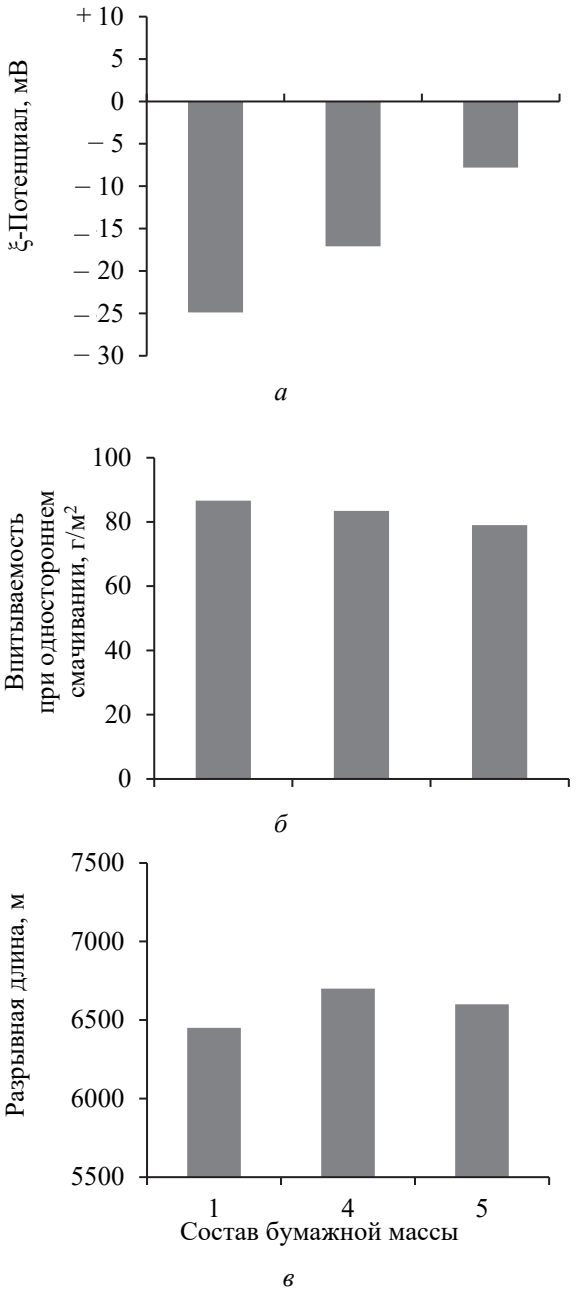


Рис. 4. Изменение ξ-потенциала волокон (*а*), гидрофобности (*б*) и физико-механических (*в*) свойств образцов бумаги (элементарных слоев картона), полученных из бумажных масс составов 1, 4, 5 по способу 2

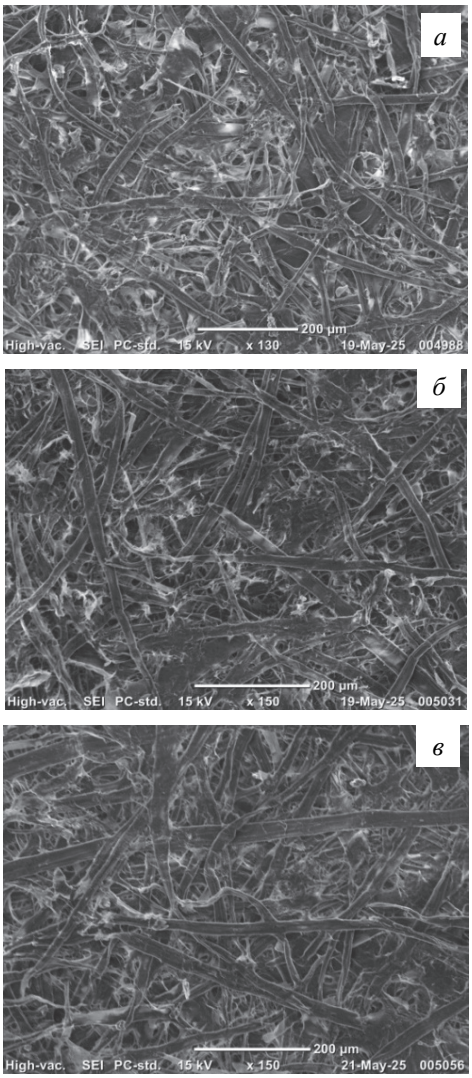


Рис. 5. Структура поверхности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из бумажных масс составов 1, 4, 5 (*а*–*в*) по способу 2, полученные методом электронной микроскопии (увеличение ×150)

Отмечено, что эффективность применения смолы повышалась при замене целлюлозных суспензий макулатурными (рис. 6, 9).

Введение смолы в макулатурную суспензию, характеризующуюся значением pH, равным 8,60 (состав 6), сопровождалось повышением ξ-потенциала волокон от –17,2 до –16,1 мВ (рис. 6, *а*), обусловленным специфической адсорбцией отрицательно заряженных частиц смолы (44,4% от исходного количества) на одноименно заряженной поверхности волокон [4]. Гидрофобность (рис. 6, *б*) и физико-механические свойства (рис. 6, *в*) образцов бумаги (элементарных слоев картона) при этом практически не отличались от свойств образцов, изготовленных без использования ХВВ. Проклеивающие комплексы, образующиеся после введения электролита в бумажную массу с составом 7 до достижения значения pH,

равного 6,99, равномерно распределялись на поверхности волокон (рис. 7), что приводило к увеличению ξ-потенциала волокон от –16,1 до –5,6 мВ (рис. 6, *а*) и в совокупности обеспечивало улучшение гидрофобности и физико-механических свойств образцов бумаги (элементарных слоев картона): впитываемость при одностороннем смачивании (рис. 6, *б*) снизилась с 89 до 18 г/м^2 (на 79,8%), разрывная длина (рис. 6, *в*) увеличилась с 4350 до 4900 м (на 12,6%). Изображение поверхности образца бумаги (рис. 8, *а*) подтвердило, что проклеивающие комплексы равномерно распределялись на поверхности волокон. Согласно элементному анализу (рис. 8, *б*), количество алюминия в составе проклеивающих комплексов, образующихся при последовательном введении в бумажные массы смолы и электролита и равномерно адсорбирующихся на поверхности волокон, в пересчете на Al_2O_3 составляло 30,75 мас. %.

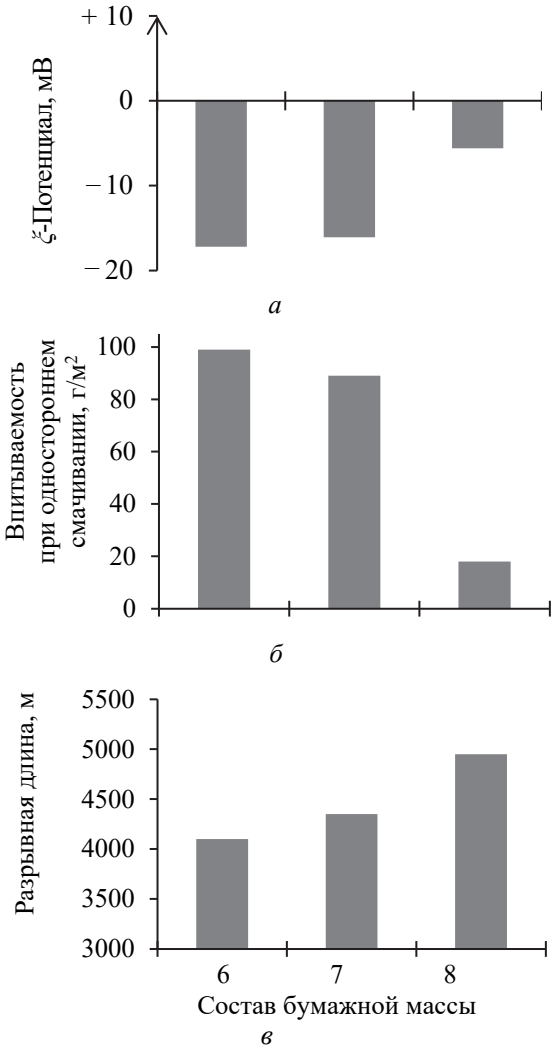


Рис. 6. Изменение ξ-потенциала волокон (*а*), гидрофобности (*б*) и физико-механических (*в*) свойств образцов бумаги (элементарных слоев картона), полученных из бумажных масс составов 6–8 по способу 3

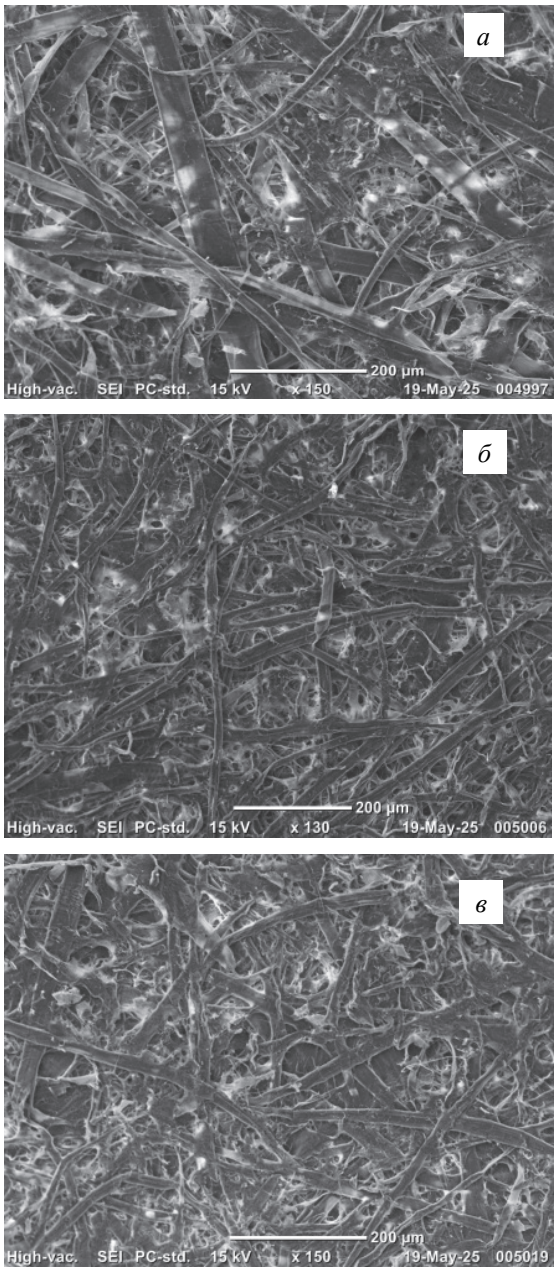
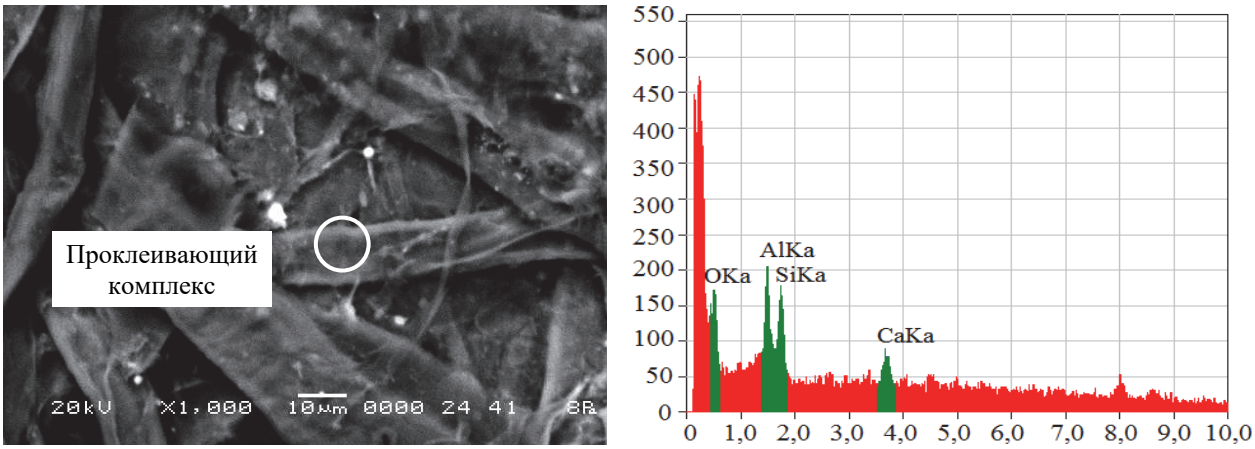


Рис. 7. Структура поверхности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из бумажных масс составов 6–8 (*а*–*в*) по способу 3, полученных методом электронной микроскопии (увеличение ×150).

При изменении порядка введения ХВВ в волокнистые суспензии (вначале – электролит, затем – смола) происходила адсорбция положительно заряженного электролита на макулатурных волокнах, на что указывало повышение их ξ-потенциала от –17,2 до –7,9 мВ (рис. 9, *а*), сопровождавшееся снижением pH бумажной массы до 6,80, с повышением разрывной длины (рис. 9, *в*) образцов бумаги (элементарных слоев картона) с 4100 до 4750 м (на 15,9%).



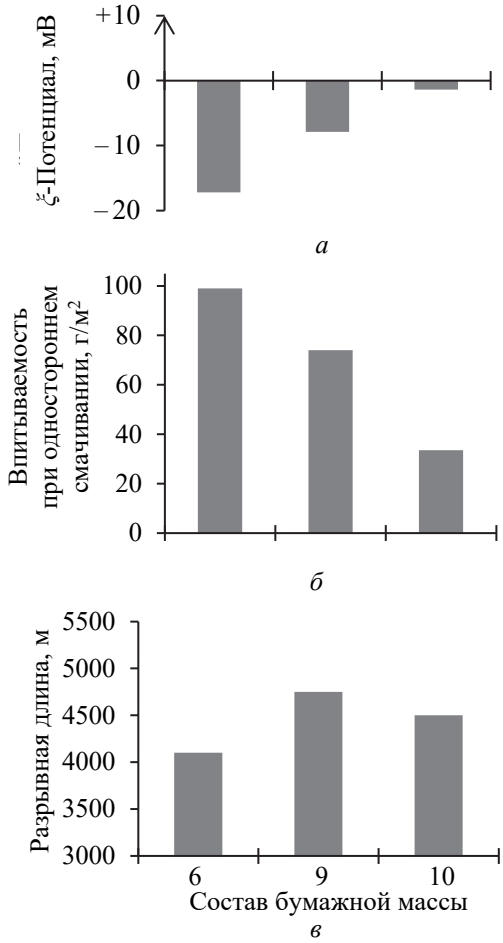
а *б*

Рис. 8. Структура поверхности образца бумаги (элементарного слоя картона), изготовленного по способу 3 из бумажной массы состава 8 (*а*), и элементный состав проклеивающего комплекса (*б*), полученные методом электронной микроскопии (увеличение ×1000)

При введении смолы в бумажную массу состава 9 происходила ее адсорбция как на положительно, так и отрицательно заряженных участках поверхности волокон, причем распределение образующихся проклеивающихся комплексов на волокнах неравномерно, на что указывали изображение (рис. 10) поверхности образцов бумаги (элементарных слоев картона) и увеличение ξ-потенциала волокон от –7,9 до –1,4 мВ (рис. 9, *а*). По-вышение значения ξ-потенциала волокон до –1,4 мВ (рис. 9, *а*) при изготовлении образцов бумаги (элементарных слоев картона) по способу 4 свидетельствовало о преждевременной коагуляции смолы, происходящей при ее введении в бумажную массу, характеризующуюся значением pH, равным 6,80 (состав 9) и приводящей к образованию крупных проклеивающих комплексов. В результате этого впитываемость при одностороннем смачивании (рис. 9, *б*) и разрывная длина (рис. 9, *в*) образцов бумаги (элементарных слоев картона) снизились на 54,1 (с 74 до 34 г/м^2) и 5,3% (с 4750 до 4500 м), соответственно, по сравнению с аналогичными показателями образцов, изготовленных из бумажной массы состава 9.

Изменение порядка введения ХВВ в бумажные массы согласно элементному анализу (рис. 11, *а, б*) приводило к снижению количества алюминия в составе образующихся проклеивающих комплексов до 73,44 мас. % (в пересчете на Al_2O_3).

Исходя из представленных экспериментальных данных, установлено, что порядок введения смолы и электролита в бумажные массы определяет характер их распределения на поверхности волокон и тем самым оказывает существенное влияние на гидрофобность и физико-механические свойства образцов бумаги (элементарных слоев картона), а также степень удержания ХВВ в структуре бумажных листов. Отмечено, что совместное использование смолы и электролита в указанных выше количествах вне зависимости от порядка их введения в макулатурные суспензии позволяет привести систему в изоэлектрическое состояние и обеспечить повышение эффективности процессов формования, проклейки и сушки бумаги [4].



а *б* *в*

Рис. 9. Изменение ξ-потенциала волокон (*а*), гидрофобности (*б*) и физико-механических (*в*) свойств образцов бумаги (элементарных слоев картона), полученных из бумажных масс составов 6, 9, 10 по способу 4

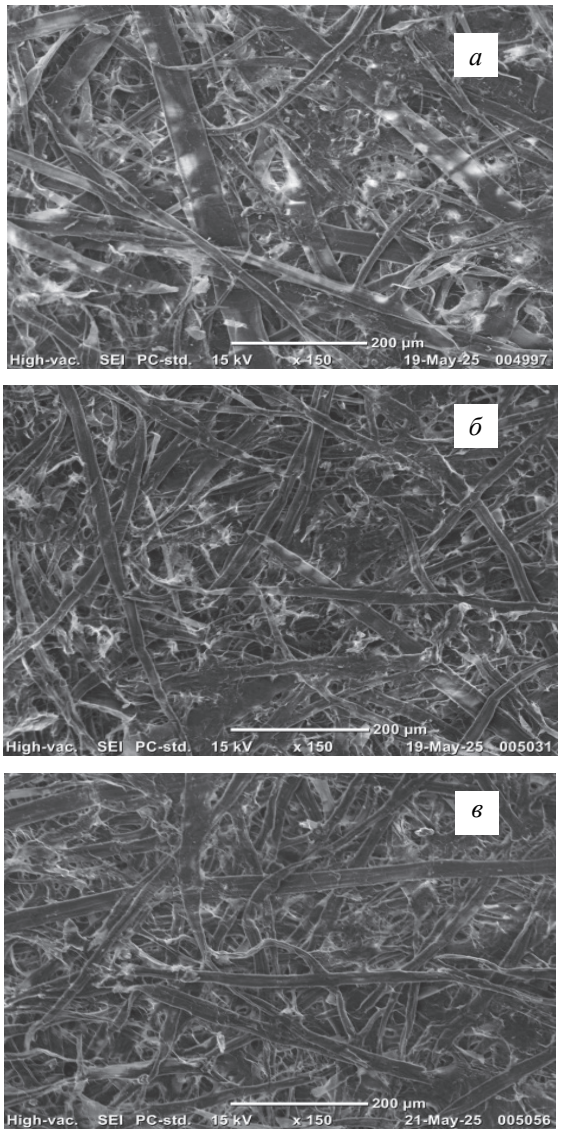
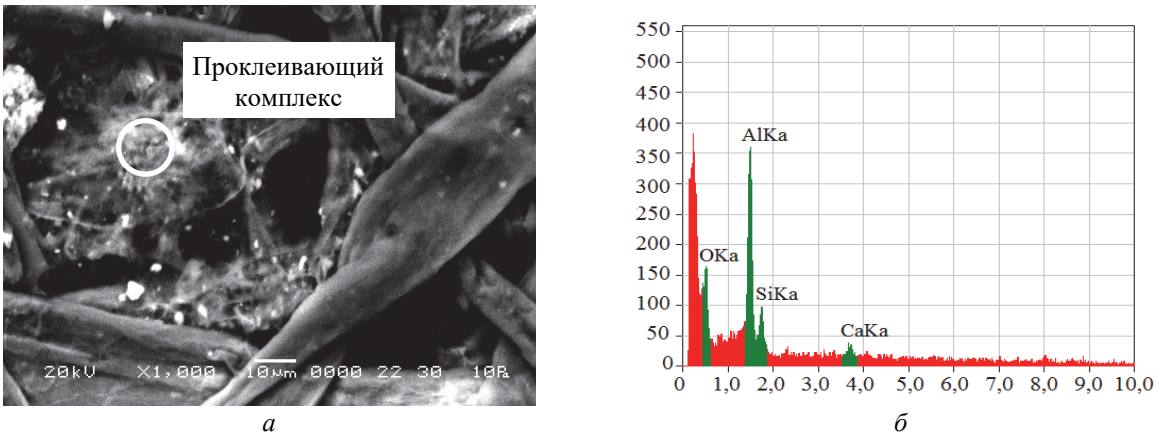


Рис. 10. Структура поверхности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из бумажных масс составов 6, 9, 10 (*а–в*) по способу 4, полученных методом электронной микроскопии (увеличение ×150)

При применении смолы по способу 3 образующиеся проклеивающие комплексы равномерно распределялись на поверхности волокон, что обеспечивало их полное удержание в структуре бумажных листов и улучшение гидрофобности и прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) на 80,9 и 19,5% соответственно по сравнению с образцами, изготовленными без использования ХВВ. Несмотря на неравномерность распределения проклеивающих комплексов, образующихся при применении смолы по способу 4, на поверхности макулатурных волокон обеспечивались их полное удержание в структуре бумажного листа и улучшение гидрофобности и прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) на 69,1 и 9,8% соответственно по сравнению с аналогичными показателями качества образцов, изготовленных без использования ХВВ.

Сопоставительный анализ результатов проведенного исследования позволил установить предпочтительный способ применения смолы в технологии бумаги и картона, заключающийся в последовательном введении в макулатурную суспензию 0,25% от а. с. в. смолы и электролита до значений pH бумажных масс, равных 6,5–7,2 (способ 3).

Производственный этап исследований. Результаты лабораторных исследований подтверждены при производстве картона для гильз марки КГ в условиях ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин». С использованием 2,8 т опытно-промышленной партии смолы ПроХим МРА произведено 140,0 т картона для гильз марки КГ. Функционирование КДМ-1 являлось стабильным, трудностей с дозированием смолы ПроХим МРА не наблюдалось. Образование брака и разрывы полотна отсутствовали.



а *б*

Рис. 11. Структура поверхности образца бумаги (элементарного слоя картона), изготовленного по способу 4 из бумажной массы состава 10 (*а*), и элементный состав проклеивающего комплекса (*б*), полученных методом электронной микроскопии (увеличение ×1000)

Таблица 2

Показатели качества серийной и опытной партий картона для гильз марки КГ

Сопротивление изгибу, мН, не менее	Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании, г/м^2, по обеим сторонам, не более	Абсолютное сопротивление продавливанию, кПа, не менее	Сопротивление расслаиванию, Н, не менее
Норма по ТУ BY 500040691.034-2005			
240	250	800	200
Серийная партия (с применением Fennosize RS KN 12A)			
260	74	815	215
Опытная партия (с применением ПроХим MPA)			
284	66	879	237

При изготовлении опытной партии картона для гильз марки КГ полностью заменена импортная канифольная дисперсия Fennosize RS KN 12A на разработанную смолу ПроХим MPA при одновременном снижении удельного расхода проклеивающего вещества на 56,1%. Качество опытной партии картона соответствовало нормам ТУ BY 500040691.034-2005 (табл. 2).

Сопоставительный анализ промышленных исследований свидетельствовал о том, что опытная партия картона отличалась от серийных улучшенными гидрофобностью и физико-механическими свойствами, на что указывало снижение впитываемости при одностороннем смачивании картона на 10,8% и повышение сопротивления изгибу, абсолютного сопротивления продавливанию и сопротивления расслаиванию на 9,2; 7,9 и 10,2% соответственно. Исходя из этого, функциональное действие разработанной смолы ПроХим MPA сопоставимо с функциональным действием импортной канифольной дисперсии Fennosize RS KN 12A.

Заключение. Особенностью применения смолы является повышение ее эффективности при замене целлюлозных суспензий на макулатурные, что объясняется, на наш взгляд, амфотерностью названного продукта, позволяющей ей взаимодействовать с другими (нецеллюлозными) компонентами бумажной массы. Предпочтительным является применение смолы в бумажных массах по способу 3 «макулатура + смола (0,25% от а. с. в.) + электролит (3,7 г Al_2O_3/г смолы)», на что указывали снижение впитываемости при одностороннем смачивании образцов бумаги (элементарных слоев картона) на 80,9% и повышение их прочности на 19,5%. Это достигается, на наш взгляд, за счет равномерного распределения на макулатурных волокнах и высокого удержания проклеивающих комплексов в структуре бумажных листов (до 93,9%).

Апробация опытно-промышленной партии смолы ПроХим MPA, выпущенной на оборудовании ООО «ПромХимТехнологии», при изготовлении картона для гильз марки КГ в производственных условиях ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» позволила достигнуть следующих положительных результатов:

– полностью заменено импортное проклеивающее вещество (канифольная дисперсия Fennosize RS KN 12A);

– снижен удельный расход проклеивающего вещества на 56,1%;

– улучшены гидрофобность и физико-механические свойства опытной партии продукции на 10,8 и 7,9–10,2% соответственно по сравнению с серийными, при этом показатели качества опытной партии продукции полностью соответствовали нормам, регламентируемым ТУ BY 500040691.034-2005.

Список литературы

1. Энгельгардт Г., Гранич К., Риттер К. Проклейка бумаги: пер. с нем. М.: Лесная пром-сть, 1975. 224 с.

2. Лещинскайте Г. И., Крылатов Ю. А., Орехов Б. Б. Возможности нейтральной проклейки бумаги в СССР // Бумажная промышленность. 1991. № 4. С. 13−14.

3. Hubbe M. A. Paper's resistance to wetting – a review of internal sizing chemicals and their effects // BioResours. 2006. No. 2 (1). P. 106–145.

4. Шабиев Р. О., Смолин А. С. Анализ электрокинетических параметров бумажной массы. СПб.: СПбГТУРП, 2012. 80 с.

5. Кожевников С. Ю., Дубовый В. К. Научные основы упрочнения бумаги при участии полимерполиионных наночастиц // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2010. № 10. С. 50–52.

6. Siqueira E. J. Polyamideamine epichlorohydrin-based papers: mechanism of wet strength development and paper repulping: Thèse Pour obtenir le grade de Docteur de L'université De Grenoble. Grenoble, 2012. 286 s. URL: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00952991 (date of access: 06.07.2020).

7. Bung J. Surface Sizing Agent // Journal IPPTA. 2004. Vol. 16, no. 3. P. 29–43.

8. Осипов П. В. Эффективное использование химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.21.03. СПб., 2007. 32 с.

9. Амидоэпихлоргидриновые смолы. Методы получения и их свойства / Р. Н. Загидуллин [и др.] // Химическая промышленность. 2011. Т. 88, № 5. С. 257–266.

10. Флейшер В. Л., Боркина Я. В. Канифольная композиция с гидрофобизирующим и упрочняющим действием на бумагу // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология, 2020. № 1. С. 131–137.

11. Боркина Я. В., Флейшер В. Л. Особенности электролитной коагуляции модифицированной полиамидной смолы и влияние ее на свойства бумаги и картона // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2024. Т. 60, № 4. С. 326–339. DOI: https://doi.org/10.29235/1561-8331-2024-60-4-326-339.

12. Боркина Я. В., Флейшер В. Л. Влияние количества малеопимаровой кислоты на функциональные свойства полиамидной смолы для бумаги // Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов ЦБП, Санкт-Петербург, 8 нояб. 2021 г. СПб., 2022. Т. 1. С. 44–48.

13. Испытание бумаги и картона / С. А. Пузырев [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1966. 412 с.

14. Метод Кьельдаля / Л. А. Щербина [и др.]. Минск: БГТУ, 2007. 88 с.

15. Боркина Я. В., Флейшер В. Л. Улучшение физико-механических свойств бумаги и картона с использованием модифицированной полиамидной смолы // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. им. проф. В. И. Комарова, Архангельск, 14–16 сент. 2023 г. Архангельск, 2023. С. 88–93.

References

1. Engel'gardt G., Granich K., Ritter K. *Prokleyka bumagi* [Paper sizing]. Moskow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1975. 224 p. (In Russian).

2. Leshchinskaite G. I., Krylatov Yu. A., Orekhov B. B. Possibilities of neutral sizing of paper in the USSR. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1991, no. 4, pp. 13−14 (In Russian).

3. Hubbe M. A. Paper's resistance to wetting – a review of internal sizing chemicals and their effects. *BioResours*, 2006, vol. 2, no. 1, pp. 106–145.

4. Shabiev R. O., Smolin A. S. *Analiz elektrokineticheskikh parametrov bumazhnoy massy* [Analysis of electrokinetic parameters of paper pulp]. St.-Petersburg, SPbGTURP Publ., 2012, 80 p. (In Russian).

5. Kozhevnikov S. Yu., Dubovyi V. K. Scientific basis for strengthening paper with the participation of polymer-polyionic nanoparticles. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Cardboard], 2010, no. 10, pp. 50–52 (In Russian).

6. Siqueira E. J. Polyamideamineepichlorohydrin-based papers: mechanism of wet strength development and paper repulping: Thèse Pour obtenir le grade de Docteur de L'université De Grenoble. Grenoble, 2012. 286 p. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00952991 (accessed 06.07.2020).

7. Bung J. Surface Sizing Agent. *Journal IPPTA*, 2004, vol. 16, no. 3, pp. 29–43.

8. Osipov P. V. *Effektivnoye ispol'zovaniye khimicheskikh vspomogatel'nykh veshchestv v proizvodstve bumagi i kartona. Avtoreferat dissertatsii doktora tekhnicheskikh nauk* [Effective use of chemical auxiliary substances in the production of paper and cardboard. Abstract of thesis DSc (Engineering)]. St. Petersburg, 2007, 32 p. (In Russian).

9. Zagidullin R. N., Dmitrieva T. G., Zagidullina L. N., Yamaleev R. F., Zagidullin S. N. Amidoepichlorohydrin resins. Methods of production and their properties. *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical industry], 2011, vol. 88, no. 5, pp. 257–266 (In Russian).

10. Fleisher V. L., Borkina Ya. V. Rosin composition with hydrophobic and strengthening effect on paper. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnology, Geoecology, 2020, no. 1, pp. 131–137 (In Russian).

11. Borkina Ya. V., Fleisher V. L. Features of electrolytic coagulation of modified polyamide resin and its influence on the properties of paper and cardboard. *Vestsi natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi* [News of the National Academy of Sciences of Belarus], series Chemical Sciences, 2024, vol. 60, no. 4, pp. 326–339. DOI: https://doi.org/10.29235/1561-8331-2024-60-4-326-339 (In Russian).

12. Borkina Ya. V., Fleisher V. L. Effect of Maleopimaric Acid Amount on Functional Properties of Polyamide Resin for Paper. *Sovremennaya tsellyulozno-bumazhnaya promyshlennost*'. *Aktual'nyye zadachi i perspektivnyye resheniya: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov TsBP* [Modern pulp and paper industry. Current tasks and promising solutions: materials of the III International Scientific and Technical conference of young scientists and specialists of the pulp and paper industry]. St. Petersburg, 2022, vol. 1, pp. 44–48 (In Russian).

13. Puzyrev S. A., Inshakov M. D., Balmasov N. F., Zotova-Spanovskaya N. F. *Ispytaniye bumagi i kartona* [Paper and cardboard testing]. Moskow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 412 p. (In Russian).

14. Shcherbina L. A., Il'icheva N. I., Geller B. E., Boltovskii V. S. *Metod K'el'dalya* [Kjeldahl method]. Minsk, BGTU Publ., 2007. 88 p. (In Russian).

15. Borkina Ya. V., Fleisher V. L. Improving the physical and mechanical properties of paper and cardboard using modified polyamide resin. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii imeni professora V. I. Komarova* [Problems of mechanics of pulp and paper materials: materials of the VII International Scientific and Technical conference named after Professor V. I. Komarov]. Arkhangelsk, 2023, pp. 88–93 (In Russian).

Информация об авторе

Боркина Яна Валерьевна – младший научный сотрудник научно-исследовательской части. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: borkina@belstu.by

Information ab out the author

Borkina Yana Valer'evna – Junior Researcher, the Research Department. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: borkina@belstu.by

Поступила 03.06.2025