



ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Научная статья

УДК 676.017

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-3-150-162

Оценка эффективности использования Na-КМЦ в технологическом потоке влагопрочной бумаги

В.В. Гораздова^{1,2}, канд. техн. наук; ResearcherID: [GWC-4729-2022](https://orcid.org/0000-0003-4732-7791),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4732-7791>

А.А. Кулебякина², инженер; ResearcherID: [NXC-3407-2025](https://orcid.org/0009-0008-7864-7900),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7864-7900>

Е.В. Дернова³, канд. техн. наук; ResearcherID: [HKE-0047-2023](https://orcid.org/0000-0002-7869-9646),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7869-9646>

Д.А. Дулькин^{1,2}, д-р техн. наук; ResearcherID: [HKD-9977-2023](https://orcid.org/0000-0001-6517-2979),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6517-2979>

¹Компания «Объединенные бумажные фабрики», 22-й км, пос. Московский, д. 4, стр. 1, блок Б, Москва, Россия, 108811; vgorazdova@ukobf.com, ddulkin@ukobf.com


²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; vgorazdova@ukobf.com, kulebyakina.a@edu.narfu.ru, ddulkin@ukobf.com

³АО «Троицкая бумажная фабрика», ул. Маяковского, д. 1, г. Кондрово, Калужская обл., Россия, 249831; edernova@ukobf.com

Поступила в редакцию 14.10.25 / Одобрена после рецензирования 12.01.26 / Принята к печати 13.01.26

Аннотация. Выполнен комплексный анализ эффективности использования натрий-карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) в производстве влагопрочной бумаги. Na-КМЦ – это водорастворимая анионная модификация целлюлозы, получаемая этерификацией целлюлозы хлорацетатом натрия в щелочном растворе. Образующийся полимер отличается высоким уровнем гидрофильности благодаря наличию карбоксильных ($-\text{COO}^-$) и гидроксильных ($-\text{OH}^-$) групп, что обеспечивает высокую растворимость этого соединения в воде и формирование стабильных коллоидных растворов. Исследовано влияние Na-КМЦ на процесс подготовки бумажной массы и эксплуатационные свойства конечной продукции. Показано, что применение Na-КМЦ оказывает комплексное положительное воздействие на физико-механические, оптические и барьерные свойства бумаги. Na-КМЦ вступает в реакцию с такими компонентами бумажной массы, как древесные и синтетические волокна, наполнители и клеящие вещества, и за счет этого усиливает адгезивные свойства и улучшает общую структуру бумаги. Na-КМЦ проявляет комбинированный эффект в многокомпонентных системах, повышая активность и эффективность других химических веществ – влагопрочных смол и пигментов. В ходе работы установлены количественные соотношения, объясняющие зависимость качества бумаги от расхода Na-КМЦ. Область применения результатов охватывает производство белых видов бумаг с высокими эксплуатационными характеристиками, особенно в условиях требований снижения экологической нагрузки на стоки. Методика

© Гораздова В.В., Кулебякина А.А., Дернова Е.В., Дулькин Д.А., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

может быть адаптирована под действующие производственные линии целлюлозно-бумажных предприятий.

Ключевые слова: Na-КМЦ, влагопрочная бумага, расход Na-КМЦ, взаимодействие Na-КМЦ, компоненты бумажной массы, влагопрочность, механическая прочность, оптические свойства, химические вспомогательные вещества

Благодарности: Исследование проведено в инновационном технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» САФУ.

Для цитирования: Гораздова В.В., Кулебякина А.А., Дернова Е.В., Дулькин Д.А. Оценка эффективности использования Na-КМЦ в технологическом потоке влагопрочной бумаги // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 3. С. 150–162.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-3-150-162>

Original article

Performance Evaluation of Na-CMC in the Wet-Strength Paper Process Flow

Victoria V. Gorazdova^{1,2}✉, *Candidate of Engineering*; ResearcherID: [GWC-4729-2022](https://orcid.org/0000-0003-4732-7791),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4732-7791>

Anastasia A. Kulebyakina², *Engineer*; ResearcherID: [NXC-3407-2025](https://orcid.org/0009-0008-7864-7900),
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7864-7900>

Elena V. Dernova³, *Candidate of Engineering*; ResearcherID: [HKE-0047-2023](https://orcid.org/0000-0002-7869-9646),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7869-9646>

Dmitriy A. Dulkin^{1,2}, *Doctor of Engineering*; ResearcherID: [HKD-9977-2023](https://orcid.org/0000-0001-6517-2979),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6517-2979>

¹The Consolidated Paper Mills Company, 22-y km, pos. Moskovskiy, 4, str. 1, blok B, Moscow, Russia, 108811; vgorazdova@ukobf.com✉, ddulkin@ukobf.com

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russia, 163002; vgorazdova@ukobf.com✉, kulebyakina.a@edu.narf.ru, ddulkin@ukobf.com

³JSC “Troitskaya Paper Mill”, ul. Mayakovskogo, 1, Kondrovo, Kaluga Region, Russia, 249831; edernova@ukobf.com

Received on October 14, 2025 / Approved after reviewing on January 12, 2026 / Accepted on January 13, 2026

Abstract. The paper presents a comprehensive analysis of the effectiveness of sodium carboxymethylcellulose (Na-CMC) in the production of wet-strength paper. Na-CMC is a water-soluble anionic cellulose derivative produced by the esterification of cellulose with sodium chloroacetate in an alkaline solution. The resulting polymer is highly hydrophilic due to the presence of carboxyl ($-\text{COO}^-$) and hydroxyl ($-\text{OH}^-$) functional groups, which ensures the compound's high solubility in water and the formation of stable colloidal solutions. This study investigated the effect of Na-CMC on the paper pulp preparation process and the performance properties of the final product. The use of NA-CMC has been shown to have a comprehensive positive effect on the physical and mechanical, optical, and barrier properties of paper. NA-CMC reacts with paper pulp components such as wood and synthetic fibers, fillers, and binders, thereby enhancing the paper's adhesive properties and

improving its overall structure. Na-CMC is effective in multi-component systems; it enhances the activity and performance of other chemical substances, such as moisture-resistant resins and pigments. The study revealed quantitative relationships that explain how paper quality depends on the amount of NA-CMC consumed. The results are applicable to the production of high-performance white papers, particularly in terms of reducing the environmental impact of wastewater discharges. The method can be adapted to existing production lines at pulp and paper mills.

Keywords: Na-CMC, wet-strength paper, Na-CMC consumption, Na-CMC interaction, paper pulp components, wet strength, mechanical strength, optical properties, chemical additives

Acknowledgments: The research was carried out at the Innovative Facilities Engineering and Innovation Center “Advanced Northern Bioresources Processing Technologies” of the Northern (Arctic) Federal University (NArFU).

For citation: Gorazdova V.V., Kulebyakina A.A., Dernova E.V., Dulkin D.A. Performance Evaluation of Na-CMC in the Wet-Strength Paper Process Flow. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 3, pp. 150–162. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-3-150-162>

Введение

В производстве бумаги и картона активно применяются различные химические вспомогательные вещества, позволяющие повысить физико-механические свойства бумаги [2, 4, 6]. Одним из таких реагентов является натрий-карбоксиметилцеллюлоза (Na-КМЦ), которая представляет собой искусственный анионный полимер на основе целлюлозы.

Научные исследования применения Na-КМЦ при переработке целлюлозы и производстве влагопрочной бумаги становятся все более востребованными. Актуальность таких исследований обусловлена необходимостью повышения качества бумаги при одновременном снижении затрат на ее изготовление. Использование Na-КМЦ позволяет решать сразу несколько технологических задач – от улучшения удержания наполнителей и мелкого волокна до повышения прочностных характеристик конечного продукта. При этом эффективность применения данного реагента во многом зависит от условий его введения и взаимодействия с другими компонентами бумажной массы [1, 8–10, 17–22, 27].

Цель работы – исследовать эффективность использования Na-КМЦ в производстве влагопрочной бумаги.

Задачи: определить влияние Na-КМЦ на процесс подготовки бумажной массы; установить зависимость свойств готовой продукции от введения в композицию Na-КМЦ; выявить оптимальный расход химических вспомогательных веществ при изготовлении влагопрочной бумаги высокого качества.

Новизна работы заключается в системности подхода к изучению влияния Na-КМЦ на процесс подготовки бумажной массы и эксплуатационные характеристики влагопрочной бумаги. Исследование охватывает широкий спектр вопросов, касающихся оптимального выбора дозировок, методов введения реагента и комплексного анализа его воздействия на разные стадии технологического процесса, а также на свойства готовой продукции. Результаты вносят существенный вклад в развитие теории и практики производства влагопрочной бумаги, способствуя повышению конкурентоспособности отечественной целлюлозно-бумажной промышленности [3, 5, 11–13, 23–26].

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали пробы бумажной массы из товарной беленой целлюлозы – лиственной и хвойной – и модельные образцы готовой влагопрочной бумаги.

Степень помола массы определяли на аппарате Шоппер-Риглера в соответствии с ГОСТ 14363.4–89 «Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям».

Электрокинетические свойства бумажной массы устанавливали по методикам производителя Müttek. Вследствие выраженного гетерогенного характера среды электрокинетические свойства бумажной массы часто нельзя выразить только одним параметром, и поэтому используют несколько показателей. Наиболее распространенными являются электрокинетический потенциал (ζ -потенциал), образующийся при контакте растительных волокон с полярными жидкостями, а также катионная потребность (КП) как мера присутствия интерферирующих веществ в волокнистом полуфабрикате [1, 7, 14–16].

Для определения структурно-морфологических характеристик волокон использовали анализатор системы Fiber Tester, который позволяет оперативно измерять параметры отдельных волокон, формировать массивы данных и выполнять их обработку.

Для оценки гидрофобных свойств бумаги определяли поверхностную впитываемость воды при одностороннем смачивании по методу Кобба₆₀ в соответствии с ГОСТ 12605–97 ИСО 535–91 «Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (метод Кобба)».

Для оценки печатных свойств бумаги определяли белизну и непрозрачность в соответствии с ГОСТ 30113–94 (ИСО 2470–77) «Бумага и картон. Метод определения белизны».

Минеральный остаток после озоления (зольность бумаги) при температуре 575 °С устанавливали в соответствии с ГОСТ 7629–93 (ИСО 2144–87) «Бумага и картон. Метод определения зольности».

Качество лабораторных образцов оценивали по следующим физико-механическим показателям: прочности при растяжении в соответствии с ГОСТ ИСО 1924-1–96 «Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 1. Метод нагружения с постоянной скоростью»; влагопрочности по ГОСТ 13525.7–68 «Бумага и картон. Методы определения влагопрочности»; сопротивлению продавливанию в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2759–2017 «Картон. Метод определения сопротивления продавливанию».

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе эксперимента проведена оценка влияния расхода Na-КМЦ на процесс подготовки бумажной массы и качество готовой продукции.

Размол лиственных и хвойных белых полуфабрикатов производили раздельно в мельнице Йокро в диапазоне степени помола 36...38 °ШР.

Расход Na-КМЦ варьировали в диапазоне 2,2; 5,0 и 10,0 кг/т. Дозирование указанных расходов осуществляли непосредственно в размалывающие стаканы.

В ходе лабораторных исследований было обнаружено, что Na-КМЦ не растворяется в холодной воде, поэтому подобрали температуру растворения химиката в горячей воде, которая составила порядка 70 °С.

Далее составляли композицию по волокну из 70 % лиственной блененой целлюлозы (ЛБЦ) и 30 % хвойной блененой целлюлозы (ХБЦ), после чего изготавливали лабораторные образцы (отливки) массой 1 м² 40 г, которые после кондиционирования в стандартных условиях подвергали физико-механическим испытаниям.

Для оценки качества бумажной массы использовали следующие параметры: продолжительность размола (рис. 1), ζ-потенциал и катионную потребность (табл. 1), а также структурно-морфологические характеристики (табл. 2).

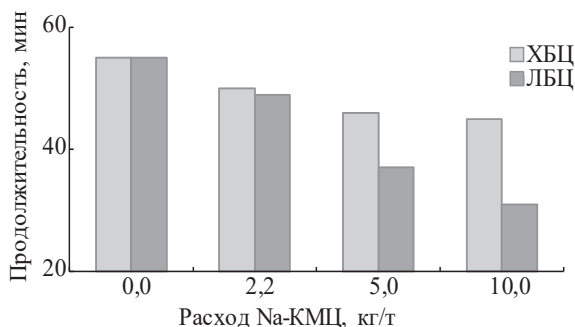


Рис. 1. Продолжительность размола ЛБЦ и ХБЦ

Fig. 1. Grinding duration of bleached hardwood pulp (ЛБЦ) and bleached softwood pulp (ХБЦ)

Подтверждено, что с увеличением расхода Na-КМЦ снижается продолжительность размола. Это происходит за счет повышения гидрофильности волокон, улучшения их смачивания и диспергирования, а также снижения межволоконного трения.

Таблица 1

Электрокинетические показатели бумажной массы
Electrokinetic properties of paper pulp

Расход Na-КМЦ, кг/т	ζ, мВ	КП, мг·эquiv/л
–	–21,9	34,1
2,2	–27,6	35,6
5,0	–32,4	39,2
10,0	–33,7	62,4

Так, продолжительность размола хвойной целлюлозы снижается на 20 %, а лиственной – почти в 2 раза (на 45 %). Для размола волокон хвойных трахеид требуется больше времени, чем для размола лиственного либриформа. Это связано с тем, что в лиственных породах содержание гемицеллюлоз, которые непосредственно участвуют в процессе размола, выше, чем в хвойных. Поэтому для лиственной целлюлозы при увеличении расхода Na-КМЦ значительно снижается продолжительность размола.

Таблица 2

Структурно-морфологические характеристики бумажной массы
Structural and morphological characteristics of paper pulp

Образец	Расход Na-КМЦ, кг/т	Среднее			Доля мелочи, %	Грубость, мкг/м
		длина волокна, мм	ширина волокна, мкм	фактор формы, %		
ХБЦ	0	1,99	27,4	82,7	4,3	216
	2,2	1,76	30,3	86,1	6,1	225

Окончание табл. 2

Образец	Расход Na-КМЦ, кг/т	Среднее			Доля мелочи, %	Грубость, мкг/м
		длина волокна, мм	ширина волокна, мкм	фактор формы, %		
ХБЦ	5,0	1,75	30,2	86,7	6,1	224
	10,0	1,73	30,3	86,4	5,9	212
ЛБЦ	0	0,91	20,7	89,3	3,1	137
	2,2	0,94	22,9	91,2	3,2	140
	5,0	0,95	22,8	91,2	3,1	139
	10,0	0,94	22,9	91,2	3,3	130

Поскольку Na-КМЦ является анионным химикатом, то при повышении его расхода наблюдается снижение ζ -потенциала, а потребность в катионах возрастает. При помощи Na-КМЦ можно также регулировать электрокинетические показатели бумажной массы перед отливом.

Анализ, выполненный с помощью анализатора волокна Fiber Tester, подтвердил разделение волокон в полном объеме до заданной степени помола. Структурно-морфологические характеристики волокон оказались идентичными, что свидетельствует о равномерности помола. Растворы Na-КМЦ обладают высокой вязкостью, это снижает подвижность целлюлозных волокон в растворе. Следовательно, при повышенных расходах Na-КМЦ усиливается рубка волокон, вызванная механическим перемешиванием и воздействием размалывающего оборудования, что приводит к образованию более коротких волокон. Рост ширины волокна обусловлен раздавливающим действием, возникающим при размоле сильно набухших волокон в условиях повышенного расхода Na-КМЦ.

При увеличении расхода Na-КМЦ продолжительность размола снижается, причем наибольшее снижение наблюдается для лиственной целлюлозы. Это объясняется повышенным содержанием гемицеллюлоз (примерно в 1,5 раза больше, чем в хвойных). Гемицеллюлозы активно участвуют в процессе размола, и Na-КМЦ, способствуя облегчению и ускорению разрушения клеточных стенок волокон, делает их более податливыми к обработке.

Для оценки качества готовой продукции контролировали следующие показатели (рис. 2): прочность при растяжении, удельную прочность при разрыве ($P_{уд}$), абсолютное сопротивление продавливанию (BST), впитываемость при одностороннем смачивании по методу Кобба, разрывную длину (L), разрушающее напряжение (σ_p), деформацию при разрушении (ε_p), жесткость при разрушении (St), начальный модуль упругости (E_1), работу разрушения (A_p).

Прочностные характеристики (σ_p , BST, L , $P_{уд}$, E_1) возрастают на 25...30 % в диапазоне расхода Na-КМЦ от 0 до 5 кг/т. Прочность максимальна при расходе Na-КМЦ 5 кг/т. Снижение этих показателей при добавлении 10 кг/т Na-КМЦ связано с минимальной продолжительностью размола.

Деформация при разрушении ε_p растет во всем диапазоне увеличения расхода химиката на 10 %. Работа разрушения A_p максимальна при расходе 5 кг/т.

Впитываемость при одностороннем смачивании ухудшается на 12 % с использованием Na-КМЦ, что ограничивает расход данного химиката для влагопрочных видов бумаг, а также не соответствует описанию данного продукта производителем.

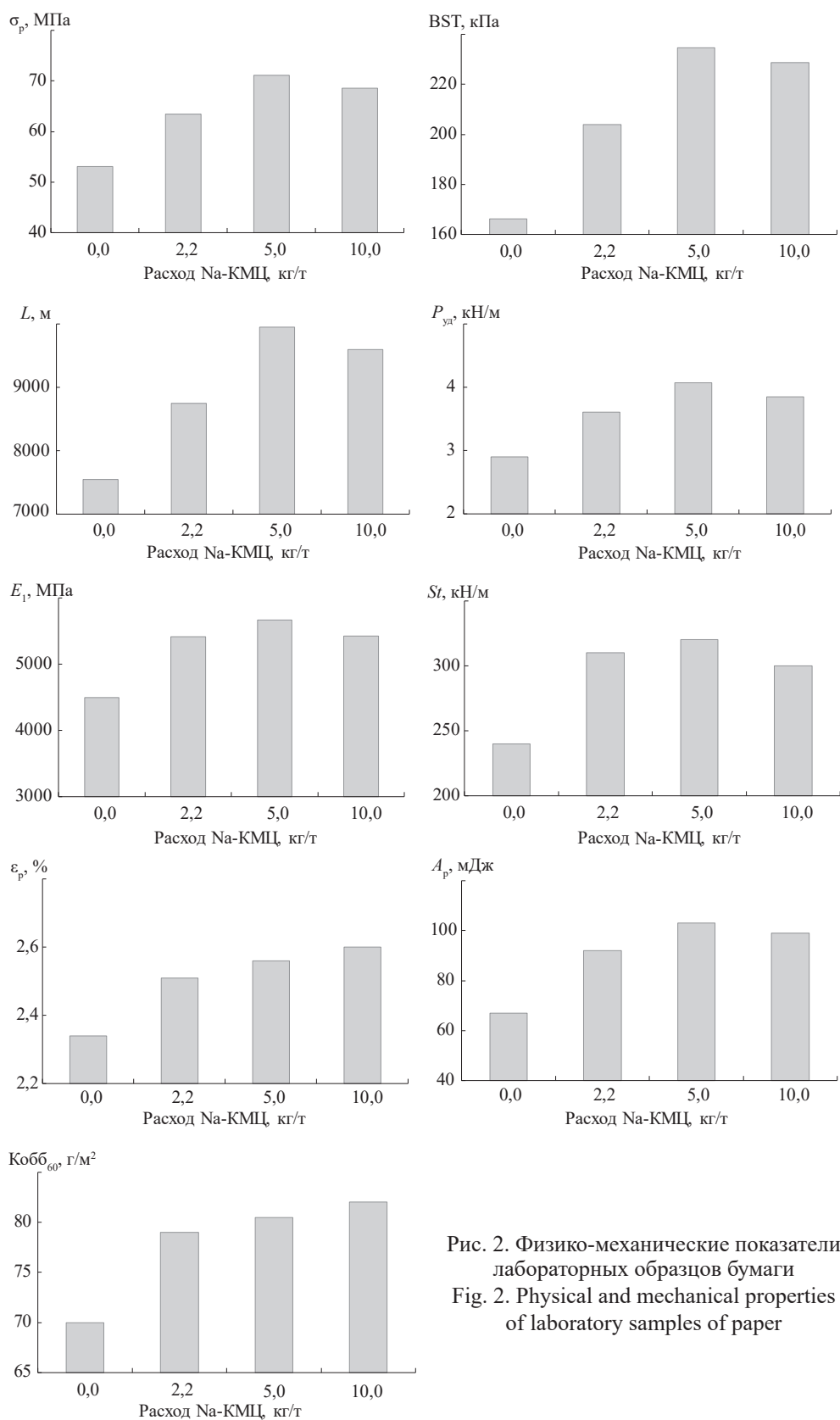


Рис. 2. Физико-механические показатели лабораторных образцов бумаги
 Fig. 2. Physical and mechanical properties of laboratory samples of paper

Кривые на рис. 3 подтверждают, что расход Na-КМЦ 5 кг/т является оптимальным для достижения прочности готового продукта.

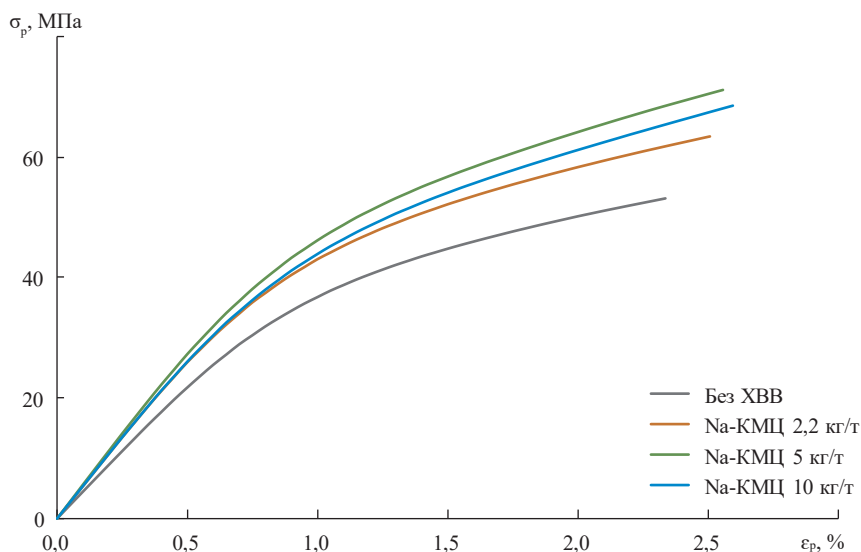


Рис. 3. Зависимость «напряжение–деформация» для лабораторных образцов бумаги (ХВВ – химическое вспомогательное вещество)

Fig. 3. Stress-strain relationship of laboratory samples of paper (ХВВ – chemical excipient)

На следующем этапе оценили качество влагопрочной бумаги, изготовленной в лабораторных условиях с использованием Na-КМЦ в количестве 5 кг/т.

Лабораторные образцы производили как на первом этапе исследования. В бумажную массу в размалывающий стакан добавляли Na-КМЦ. После размола в массу вводили оптическое отбеливающее вещество – 0,95 кг/т; мел – 250 или 350 кг/т; алкилкетендимер – 5,8 кг/т; крахмал – 5 кг/т; влагопрочную смолу – 5,6 кг/т; удерживающий агент – 1,0 кг/т; коагулянт – 3,0 кг/т. Крахмал использовали для повышения качества готовых образцов и удержания наполнителя.

На рис. 4 продемонстрированы физико-механические показатели влагопрочной бумаги, в композиции которой содержится мел и крахмал.

При повышении расхода мела с 250 до 350 кг/т снижаются все физико-механические характеристики влагопрочной бумаги. Это обусловлено тем, что при высоком содержании наполнителя в бумаге уменьшаются межволоконные силы связи, а следовательно, и качественные характеристики образцов.

Крахмал повышает прочность бумаги, а также увеличивает удержание наполнителя и мелкого волокна в структуре бумажного листа.

Выявлено, что при расходе мела 250 кг/т сопротивление продавливанию соответствует требуемому, а при расходе 350 кг/т не попадает в норму, но при добавлении крахмала повышается до необходимых даже при максимальном расходе мела. Жесткость при растяжении имеет аналогичную тенденцию.

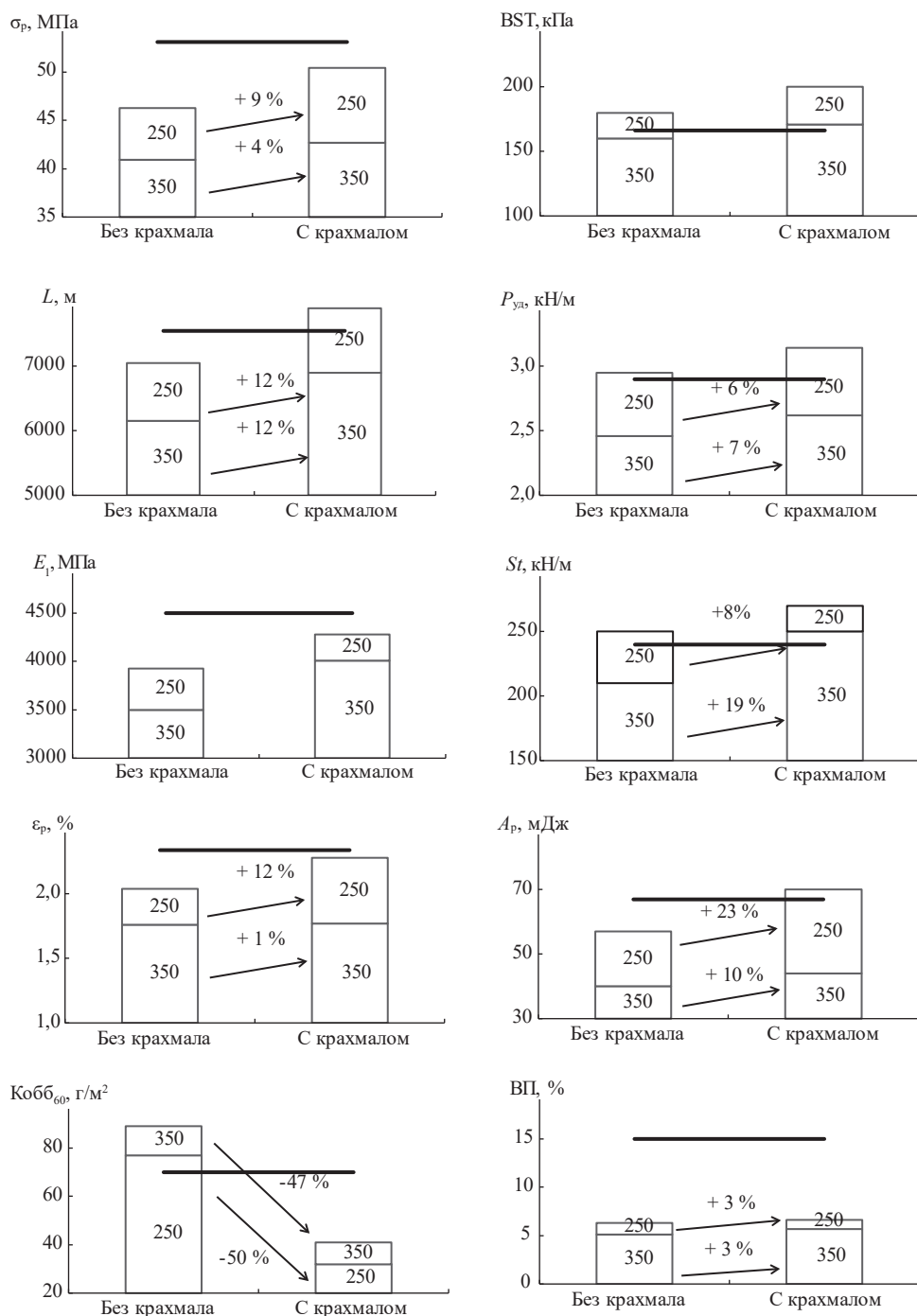


Рис. 4. Физико-механические показатели лабораторных образцов влагопрочной бумаги с добавлением мела и крахмала. Числовые значения на диаграммах – расход мела, кг/т. Черная горизонтальная линия – показатель для влагопрочной бумаги без наполнителя и крахмала (норма). ВП – влагопрочность

Fig. 4. Physical and mechanical properties of laboratory samples of wet-strength paper containing whiting and starch. The numerical values on the graphs represent whiting consumption, kg/t. The black horizontal line indicates the values for wet-strength paper without fillers or starch (reference standard). ВП – wet strength

Разрывная длина, удельная прочность при разрыве и работа разрушения соответствуют норме лишь при добавлении мела 250 кг/т в присутствии крахмала.

Разрушающее напряжение, начальный модуль упругости и деформация разрушения не попадают в норму даже в случае применения крахмала.

Впитываемость при использовании крахмала снижается в 2 раза, что свидетельствует о повышении гидрофобности образцов.

Влагопрочность образцов бумаги без крахмала при увеличении расхода мела снижается на 3 %. При введении крахмала прирастает на те же 3 % для каждого расхода мела. Нормативная влагопрочность составила 15 %, что граничит с влагопрочностью при добавлении мела в количестве 250 или 350 кг/т в сочетании с крахмалом.

Проведен анализ печатных свойств (белизны и непрозрачности) влагопрочной бумаги (рис. 5). Мел повышает печатные свойства, в т. ч. белизну и непрозрачность. Так, при использовании мела белизна увеличилась на 2 %, а непрозрачность – на 3 %. Оба показателя соответствуют нормам даже без использования крахмала.

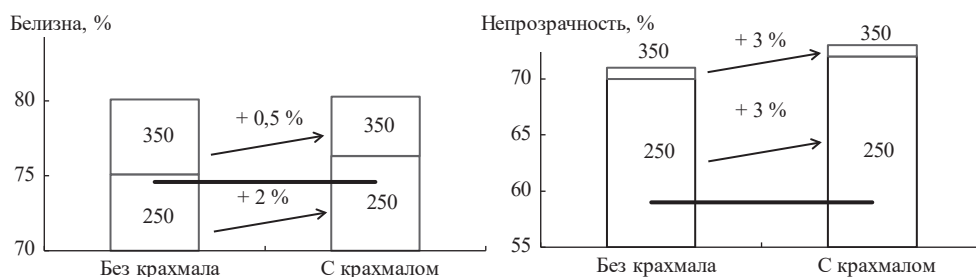


Рис. 5. Печатные свойства влагопрочной бумаги с добавлением мела и крахмала

Fig. 5. Printing properties of wet-strength paper containing whiting and starch

В табл. 3 представлена зольность полученной влагопрочной бумаги. По результатам исследования лабораторных образцов методом озольнения установлено, что увеличение расхода мела на 100 кг/т повышает зольность с 7,4 до 8,3 %. Применение крахмала улучшает удержание наполнителя.

Таблица 3

Зольность лабораторных образцов
Ash content of laboratory samples

Расход, кг/т		Зольность, %
мела	крахмала	
250	–	7,4
	100	8,4
350	–	8,3
	100	9,6

При расходе мела 250 кг/т в случае добавления крахмала достигается аналогичная зольность, соответствующая показателю при расходе мела 350 кг/т без применения крахмала. Зольность возрастает с 8,4 до 9,6 % при использовании крахмала.

Таким образом, для изготовления влагопрочной бумаги с применением На-КМЦ без потери уровня физико-механических показателей необходим расход мела 250 кг/т и крахмала – 5 кг/т.

Выводы

1. Рекомендуется перед использованием Na-КМЦ для варки влагопрочной бумаги предварительно растворить его в горячей воде.
2. С увеличением расхода Na-КМЦ продолжительность размола хвойной целлюлозы снижается на 20 % и лиственной – до 45 %.
3. Оптимальный расход Na-КМЦ составил 5 кг/т, при котором достигаются максимальные прочностные характеристики лабораторных образцов бумаги.
4. Для изготовления влагопрочной бумаги с использованием Na-КМЦ без потери уровня физико-механических показателей необходимо добавлять мел в количестве 250 кг/т и крахмал – 5 кг/т.
5. Na-КМЦ эффективен при включении его в технологический поток влагопрочной бумаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Денисова М.Н., Будаева В.В., Минаев К.М. Физико-химические свойства полисахаридных реагентов, основным компонентом которых является натрий карбоксиметилцеллюлоза // Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием. 2016. С. 457–464.
Denisova M.N., Budayeva V.V., Minayev K.M. Physical and Chemical Properties of Polysaccharide Agents Containing Sodium Carboxymethyl Cellulose as the Main Component. *Proceedings of the 9th All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists with International Participation*. 2016, pp. 457–464. (In Russ.).
2. Дернова Е.В., Гораздова В.В., Гурьев А.В., Дулькин Д.А., Дернов А.И., Окулова Е.О. Практикум по технологии бумаги и картона. Часть I. Анализ полуфабрикатов, химикатов и бумажной массы. Архангельск: САФУ, 2022. 88 с.
Dernova E.V., Gorazdova V.V., Guryev A.V., Dulkin D.A., Dernov A.I., Okulova E.O. *Workshop on Paper and Cardboard Technology. Part I. Analysis of Semi-Finished Products, Chemicals and Paper Pulp*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2022. 88 p. (In Russ.).
3. Махотина Л.Г. Технология целлюлозных композиционных материалов. Современные тенденции в технологии мелованных видов бумаги и картона. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т промышл. технологий и дизайна. Высш. шк. технологии и энергетики, 2021. 76 с.
Makhotina L.G. *Cellulosic Composite Materials Technology. Current Trends in the Coated Paper and Cardboard Technology*. Saint Petersburg, SUTD VShTE Publ., 2021. 76 p. (In Russ.).
4. Осипов П.В. Эффективное использование химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2008. 32 с.
Osipov P.V. *Efficient Use of Chemical Auxiliaries in Paper and Cardboard Production*: Dr. Engin. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 2008. 32 p. (In Russ.).
5. Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Современное состояние, тенденции и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности Российской Федерации // Лесн. вестн. / *Forestry Bulletin*. 2022. Т. 26, № 6. С. 148–160.
Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. Current State, Trends and Development Prospects of the Pulp and Paper Industry of the Russian Federation. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 148–160. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-148-160>
6. Рыбин Е.А., Аксенчик К.В. Натрий-карбоксиметилцеллюлоза и способы ее получения // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 1. Вологда: Маркер, 2017. С. 30–32.
Rybin E.A., Aksenchik K.V. Sodium Carboxymethyl Cellulose and Methods for Its Production. *Science Today: Global Challenges and Mechanisms of Development: Proceedings*

of the International Scientific and Practical Conference: In 2 Vol. Vol. 1. Vologda, Marker Publ., 2017, pp. 30–32. (In Russ.).

7. Стась И.Е., Батушчева И.А. Относительная вязкость водных растворов Na-карбоксиметилцеллюлозы и ее изменение в зависимости от кислотности среды, температуры и воздействия электромагнитного поля // Химия растит. сырья. 2018. № 3. С. 23–31.

Stas I.E., Batishcheva I.A. Relative Viscosity of Aqueous Solutions of Na-Carboxymethyl Cellulose and Its Change Depending on the Acidity of the Medium, Temperature and Exposure to an Electromagnetic Field. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* = Chemistry of plant raw materials, 2018, no. 3, pp. 23–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprml.2018033695>

8. Тарасов С.М. Химические вспомогательные средства в производстве целлюлозных композиционных материалов. М.: Московск. гос. ун-т леса, 2016. 37 с.

Tarasov S.M. *Chemical Auxiliary Agents in the Production of Cellulose Composite Materials*. Moscow, MSFU Publ., 2016. 37 p. (In Russ.).

9. Трескова В.И., Шипина О.Т., Романова С.М., Никитин В.Г. Химическая модификация карбоксиметилцеллюлозы диаминофуразаном // Вестн. технол. ун-та. 2016. Т. 19, № 12. С. 172–175.

Treskova V.I., Shipina O.T., Romanova S.M., Nikitin V.G. Chemical Modification of Carboxymethyl Cellulose with Diaminofurazan. *Herald of Technological University*, 2016, vol. 19, no. 12, pp. 172–175. (In Russ.).

10. Хованский В.В., Дубовый В.К., Кейзер П.М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона. Ч. 2. СПб.: С.-Петербург. гос. технол. ун-т растит. полимеров, 2013. 72 с.

Khovanskiy V.V., Dubovyy V.K., Keyzer P.M. *Use of Chemical Auxiliaries in Paper and Cardboard Production*. Part 2. Saint Petersburg, SPbGTURP Publ., 2013. 72 p. (In Russ.).

11. Черная Н.В., Карпова С.В., Мисуров О.А., Гордейко С.А., Чернышева Т.В., Дашкевич С.А. Свойства мелованных видов бумаги и картона в зависимости от вида и содержания связующих веществ в нанесенном покрытии // Тр. БГТУ. Сер. 2. 2020. № 1. С. 160–172.

Chernaya N.V., Karpova S.V., Misyurov O.A., Gordeyko S.A., Chernysheva T.V., Dashkevich S.A. Properties of Coated Paper and Cardboard Depending on the Type and Content of Binders in the Coating. *Proceedings of BSTU. Series 2*, 2020, no. 1, pp. 160–172. (In Russ.).

12. Черная Н.В., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Дашкевич С.А., Мисуров О.А. Повышение эффективности проклейки волокнистых суспензий в нейтральной и слабощелочной средах (обзор) // Тр. БГТУ. Сер. 2. Химич. технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 1(265). С. 36–54.

Chernaya N.V., Shashok Zh.S., Uss E.P., Dashkevich S.A., Misyurov O.A. Improving the Efficiency of Sizing of Fibrous Suspensions in Neutral and Weak Alkaline Media (Review). *Proceedings of BSTU. Ser. 2, Chemical technologies, biotechnology, geoecology*, 2023, no. 1(265), pp. 36–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.52065/2520-2669-2023-265-1-5>

13. Чернова В.В., Котышов М.С., Лаздин Р.Ю., Кулиш Е.И. Изучение реологических свойств растворов натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер.: Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 163–169.

Chernova V.V., Kotyashov M.S., Lazdin R.Yu., Kulish E.I. Study of Rheological Properties of Sodium Salt Solutions of Carboxymethyl Cellulose. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 163–169. (In Russ.). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-163-169>

14. Шачнева Е.Ю., Магомедова З.А., Малачиева Х.З. Изучение физико-химических свойств частиц карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в водных растворах // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 1. С. 152–156.

Shachneva E.Yu., Magomedova Z.A., Malachieva Kh.Z. Study of Physico-Chemical Properties of Carboxymethyl Cellulose in Aqueous Solutions. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2014, no. 1, pp. 152–156. (In Russ.).

15. Abe T.O., Lajide L., Owolabi B.J., Adebayo A.O., Ogunjobi J.K., Oluwasina O.O. Synthesis and Application of Carboxymethyl Cellulose from *Gliricidia sepium* and *Cola gigantea*. *BioResources*, 2018, vol. 13(3), pp. 6077–6097. <https://doi.org/10.15376/biores.13.3.6077-6097>
16. Ambjörnsson H.A., Schenzel K., Germgård U. Carboxymethyl Cellulose Produced at Different Mercerization Conditions and Characterized by NIR FT Raman Spectroscopy in Combination with Multivariate Analytical Methods. *BioResources*, 2013, vol. 8(2), pp. 1918–1932. <https://doi.org/10.15376/biores.8.2.1918-1932>
17. Hivechi A., Bahrami S.H., Arami M., Karimi A. Ultrasonic Mediated Production of Carboxymethyl Cellulose: Optimization of Conditions Using Response Surface Methodology. *Carbohydrate Polymers*, 2015, vol. 134, pp. 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.045>
18. Hubbe M.A., Gill R.A. Fillers for Papermaking: A Review of Their Properties, Usage Practices, and Their Mechanistic Role. *BioResources*, 2016, vol. 11(1), pp. 2886–2963. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.Hubbe>
19. Huhtamäki T., Tian X., Korhonen J.T., Ras R.H.A. Publisher Correction: Surface-Wetting Characterization Using Contact-Angle Measurements. *Nature Protocols*, 2018, vol. 14, art. 2259. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0047-0>
20. Kono H., Oshima K., Hashimoto H., Shimizu Y., Tajima K. NMR Characterization of Sodium Carboxymethyl Cellulose: Substituent Distribution and Mole Fraction of Monomers in the Polymer Chains. *Carbohydrate Polymers*, 2016, vol. 146, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.021>
21. Lee J., Park S., Roh H.-G., Oh S., Kim S., Kim M., et al. Preparation and Characterization of Superabsorbent Polymers Based on Starch Aldehydes and Carboxymethyl Cellulose. *Polymers*, 2018, vol. 10(6), art. 605. <https://doi.org/10.3390/polym10060605>
22. Mohkami M., Talaeipour M. Investigation of the Chemical Structure of Carboxylated and Carboxymethylated Fibers from Waste Paper via XRD and FTIR Analysis. *BioResources*, 2011, vol. 6(2), pp. 1988–2003. <https://doi.org/10.15376/biores.6.2.1988-2003>
23. Panchan N., Wattanapan P., Sungsinchai S., Roddecha S., Dittanet P., Seubsai A., et al. Optimization of Synthesis Conditions for Carboxymethyl Cellulose from Pineapple Leaf Waste Using Microwave-Assisted Heating and Its Application as a Food Thickener. *BioResources*, 2021, vol. 16(4), pp. 7684–7701. <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.7684-7701>
24. Rahman M.S., Hasan M.S., Nitai A.S., Nam S., Karmakar A.K., Ahsan M.S., et al. Recent Development of Carboxymethyl Cellulose. *Polymers*, 2021, vol. 13, iss. 8, art. 1345. <https://doi.org/10.3390/polym13081345>
25. Su L., Ou Y., Feng X., Lin M., Li J., Liu D., et al. Integrated Production of Cellulose Nanofibers and Sodium Carboxymethylcellulose Through Controllable Eco-Carboxymethylation Under Mild Conditions. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2019, vol. 7, iss. 4, pp. 3792–3800. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b04492>
26. Wei J., Zhou Y., Lv Y., Wang J., Jia C., Liu J., et al. Carboxymethyl Cellulose Nanofibrils with a Treelike Matrix: Preparation and Behavior of Pickering Emulsions Stabilization. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2019, vol. 7, iss. 15, pp. 12887–12896. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01822>
27. Yu P., Hou Y., Zhang H., Zhang W., Yang S., Ni Y. Characterization and Solubility Effects of the Distribution of Carboxymethyl Substituents Along the Carboxymethyl Cellulose Molecular Chain. *BioResources*, 2019, vol. 14(4), pp. 8923–8934. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.8923-8934>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article