ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 672.2.014.44
https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-237-250

Поступила в редакцию 25.03.2022
Received 25.03.2022

В. Л. Флейшер, Н. В. Черная, Ж. С. Шашок

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ ДИМЕРОВ АЛКИЛКЕТЕНОВ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ СМОЛЯНЫХ КИСЛОТ В ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ И МАКУЛАТУРНЫХ СУСПЕНЗИЯХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ВИДОВ БУМАГИ И КАРТОНА

Аннотация. Изучены особенности применения проклеивающих эмульсий димеров алкилкетенов (AKD) и смоляных кислот, модифицированных моноэтилцеллозольвмалеинатом (ТМ) и моноэтаноламином (ТМАС-3Н), для гидрофобизации волокнистых суспензий, содержащих первичные (целлюлозу сульфатную (небеленую и беленую) из хвойных и лиственных пород древесины) и вторичные (макулатуру) полуфабрикаты, отличающиеся фракционным составом и степенью помола (25–70 ° ШР). Содержание частиц дисперсной фазы эмульсий варьировали от 0,08 до 0,30 % для AKD и от 0,20 до 2,00 % для ТМ и ТМАС-3Н. Установлено, что гидрофобизирующее действие эмульсий AKD, ТМ и ТМАС-3Н повышается при замене вторичных волокнистых полуфабрикатов на первичные; оно зависит от степени помола волокнистой суспензии и ее фракционного состава. Особенность применения эмульсии димеров алкилкетенов заключается в способности ее частиц образовывать гидрофобные β-кетоэфирные связи с гидроксильными группами волокон, количество которых заметно возрастает при использовании целлюлозных волокон вместо макулатурных. Особенностью применения канифольных эмульсий ТМ и ТМАС-3Н является их способность образовывать проклеивающие комплексы в присутствии электролита, что позволяет обеспечить их электростатическое взаимодействие с поверхностью волокон (целлюлозных и макулатурных). Преимуществом эмульсии ТМАС-3Н по сравнению с ТМ является возможность снижения содержания частиц дисперсной фазы в 1,8–6,6 раза при одновременном достижении высокой гидрофобности (впитываемость при одностороннем смачивании не превышает 21 г/м^2) и сохранении первоначальной прочности бумаги и картона.

Ключевые слова: проклеивающие эмульсии, целлюлоза, макулатура, механизм проклейки, бумага, картон, гидрофобность, прочность

Для цитирования. Флейшер, В. Л. Особенности применения эмульсий димеров алкилкетенов и модифицированных смоляных кислот в целлюлозных и макулатурных суспензиях для получения высококачественных видов бумаги и картона / В. Л. Флейшер, Н. В. Черная, Ж. С. Шашок // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 237–250. https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-237-250

V. L. Fleisher, N. V. Chornaya, Zh. S. Shashok

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

FEATURES OF APPLICATION OF ALKYLKETENE DIMER EMULSIONS AND MODIFIED RESIN ACIDS IN CELLULOSIC AND WASTE SUSPENSIONS FOR OBTAINING HIGH-QUALITY TYPES OF PAPER AND CARDBOARD

Abstract. The features of the use of sizing emulsions of alkyl ketene dimers (AKD) and resin acids modified with monoethyl cellosolve maleate (TM) and monoethanolamine (TMAS-3N) for hydrophobization of fibrous suspensions containing primary (sulphate cellulose (unbleached and bleached) from coniferous and hardwood) and secondary (waste paper) semi-finished products, differing in fractional composition and degree of grinding (25–70 °SR). The content of particles of the dispersed phase of the emulsions varied from 0.08 to 0.30 % for the AKD emulsion and from 0.20 to 2.00 % for TM and TMAS-3N. It has been established that the hydrophobic effect of AKD, TM and TMAS-3N emulsions increases when secondary fibrous semi-finished products are replaced with primary ones; it depends on the grinding degree of the fibrous suspension and its fractional composition. A feature of the use of alkyl ketene dimers emulsion lies in the ability of its particles to form hydrophobic β -ketoether bonds with hydroxyl groups of fibers, the number of which increases singnificantly when cellulose fibers are used instead of recycled ones. A feature of the use of TM and TMAS-3N rosin emulsions is their ability to form sizing complexes in the presence of electrolyte, which makes it possible to ensure their electrostatic interaction with the surface of fibers (cellulose and waste paper). The advantage of the TMAS-3N emulsion as compared to TM is the possibility of reducing the content of particles of the dispersed phase by 1.8–6.6 times while achieving high hydrophobicity (absorption with one-sided wetting does not exceed 21 g/m^2) and maintaining the original strength of paper and cardboard.

Keywords: sizing emulsions, cellulose, waste paper, sizing mechanism, paper, cardboard, hydrophobicity, strength

© Флейшер В. Л., Черная Н. В., Шашок Ж. С., 2022

For citation. Fleisher V. L., Chornaya N. V., Shashok Zh. S. Features of application of alkylketene dimer emulsions and modified resin acids in cellulosic and waste suspensions for obtaining high-quality types of paper and cardboard. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series,* 2022, vol. 58, no. 2, pp. 237–250 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-237-250

Введение. При изготовлении высококачественных видов бумаги и картона традиционно используют комплекс вспомогательных химических веществ, которые придают готовой продукции требуемые свойства (гидрофобность – проклеивающие эмульсии, прочность – полиамидные смолы, катионный крахмал и т. д.). В настоящее время для гидрофобизации бумаги и картона применяют канифольные и синтетические проклеивающие эмульсии. К канифольным проклеивающим веществам относятся пастообразный клей марки ТМ, представляющий собой нейтрализованный раствором гидроксида натрия продукт модифицирования смоляных кислот талловой канифоли моноэтилцеллозольвмалеинатом, и клеевая канифольная композиция ТМАС-3Н, содержащая частично нейтрализованную гидроксидом натрия смесь малеинезированной талловой канифоли и амидов смоляных кислот, стабилизированную раствором казеината аммония, а к синтетическим – димеры алкилкетенов (далее – AKD) [1–4].

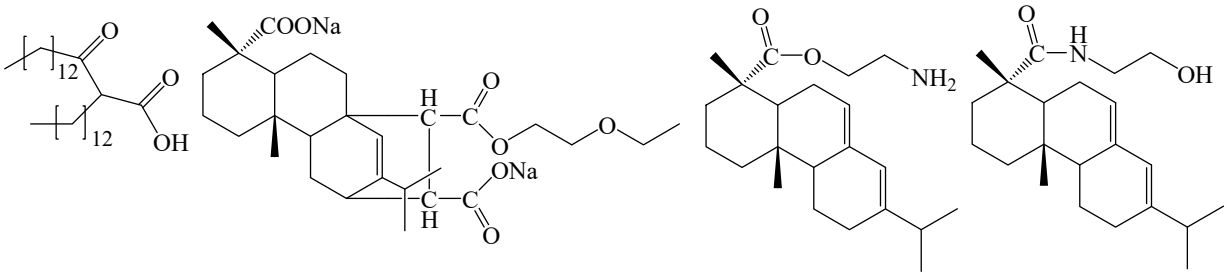
Использование канифольной эмульсии ТМ основано на коллоидно-химическом взаимодействии проклеивающих комплексов с активными реакционноспособными гидроксильными группами, находящимися на поверхности волокон (целлюлозных и макулатурных), а синтетической эмульсии AKD – на химическом взаимодействии ее карбоксильных групп с реакционноспособными гидроксильными группами целлюлозы.

Канифольные эмульсии с содержанием сухих веществ 2–5 % получают путем смешивания с водой пастообразного продукта (содержание сухих веществ 60–70 %). В отличие от синтетической эмульсии AKD канифольную эмульсию ТМ используют для проклейки волокнистых суспензий, полученных из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) волокнистых полуфабрикатов. Достоинством канифольной проклейки бумажных масс является также более низкая температура на стадии термообработки бумаги и картона (110–120 °С), что повышает энергоэффективность процесса их изготовления [5].

Эмульсия AKD проявляет свою эффективность преимущественно для целлюлозных волокон. Сложность применения эмульсий AKD в макулатурных суспензиях обусловлена блокировкой (полной или частичной) гидроксильных групп волокон ранее введенными химическими веществами, представляющими собой частицы дисперсной фазы (далее – ЧДФ), отличающиеся природой и структурой. Широко применяемые эмульсии AKD (Fennosize KD 225YP, AKD-KV-150HP, Dumar VP 738 и др.) отличаются видом и содержанием стабилизирующих веществ. Гидрофобизирующее действие эмульсии AKD заключается в образовании сложных эфирных связей на стадии термообработки бумаги и картона [6, 7] при температуре 130–135 °С. При более низкой температуре снижается эффективность гидрофобизирующего действия эмульсии AKD на целлюлозные волокна, поскольку не все молекулы димеров алкилкетенов участвуют в образовании гидрофобных β-кетоэфиров.

Существующие технологии применения синтетических и канифольных эмульсий основаны на разработанных практических рекомендациях [8–12] или подборе в производственных условиях предпочтительного содержания ЧДФ проклеивающих и других химических веществ (функциональных и процессных), обеспечивающих получение высококачественных видов бумаги и картона, отличающихся свойствами и областью применения.

Для решения существующих актуальных научно-технических проблем и повышения качества бумаги и картона перспективным является использование агрегативно устойчивых высокосмоляных проклеивающих эмульсий на канифольной основе, позволяющих осуществлять процесс гидрофобизации целлюлозных и макулатурных суспензий в нейтральной среде (pH 6,5–7,2). Стабилизации и повышению агрегативной устойчивости высокосмоляных канифольных эмульсий способствуют введенные в состав проклеивающих веществ катионные азотсодержащие соединения (например, казеинат аммония), которые улучшают сформированные структуры проклеивающих комплексов, предотвращают их агрегирование [13] и позволяют осуществлять про-



Димеры алкилкетенов *a* | Натриевая соль моноэтилцеллозольвового эфира малеопимаровой кислоты *b* | Аминоэтиловый эфир абиетиновой кислоты *c* | Оксиэтиламид абиетиновой кислоты

Рис. 1. Основные вещества в составе проклеивающих веществ: *a* – эмульсии AKD; *b* – канифольного клея марки ТМ; *c* – клеевой канифольной композиции ТМАС-3Н

Fig. 1. The main substances in the composition of sizing agents: *a* – AKD emulsions; *b* – rosin glue brand TM; *c* – adhesive rosin composition TMAS-3N

цесс проклейки в режиме гетероадагуляции [14], характеризующийся равномерным распределением мелких ЧДФ на поверхности волокон.

Преимуществом разработанной в Белорусском государственном технологическом университете клеевой канифольной композиции ТМАС-3Н [15] по сравнению с традиционно применяемыми проклеивающими веществами (рис. 1, *a* и *b*) является использование в ее составе амидов смоляных кислот (рис. 1, *c*), полученных модифицированием талловой канифоли моноэтаноламином при 170 °С.

Применение амидов смоляных кислот канифоли позволяет, по нашему мнению, сместить процесс проклейки из режима гомокоагуляции в режим гетероадагуляции, что способствует максимальному сохранению первоначальной прочности исходных волокнистых полуфабрикатов. Поскольку процессы проклейки и упрочнения являются конкурирующими [16, 17], то повышение гидрофобности бумаги и картона сопровождается ухудшением их прочности. Дополнительно амиды смоляных кислот канифоли, на наш взгляд, способны образовывать водородные связи с гидроксильными группами макромолекул целлюлозы, что способствует компенсации потери прочности бумаги и картона при их гидрофобизации.

Имеющаяся в научной и технической литературе информация об особенностях применения синтетических и канифольных эмульсий [1–18] не позволяет оценить эффект их гидрофобизирующего действия на бумагу и картон и потерю ими первоначальной прочности, поскольку известные зависимости получены в разных условиях: степень помола используемых волокнистых полуфабрикатов (первичных – различных видов целлюлозы; вторичных – макулатуры) и содержание в волокнистых суспензиях несопоставимых количеств проклеивающих эмульсий (димеров алкилкетенов и модифицированных смоляных кислот).

Отсутствие научно обоснованных практических рекомендаций применения эмульсий AKD и модифицированных смоляных кислот в сопоставимых условиях обусловливает актуальность настоящей работы с научной и практической точек зрения.

Цель работы – изучить особенности и оценить эффективность применения синтетических (димеров алкилкетенов) и канифольных (ТМ и ТМАС-3Н) эмульсий в целлюлозных и макулатурных массах в сопоставимых условиях.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи: определены особенности гидрофобизирующего действия синтетической (димеров алкилкетенов) и канифольных (модифицированных смоляных кислот) эмульсий на бумажные массы из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) волокнистых полуфабрикатов и оказываемое ими влияние на снижение первоначальной прочности бумаги (элементарных слоев картона); проведен сопоставительный анализ, который позволил определить предпочтительное содержание проклеивающих эмульсий в бумажных массах для получения высококачественных видов бумаги и картона с высокой гидрофобностью и прочностью.

Материалы и методы. Для получения волокнистых суспензий использованы четыре вида волокнистого полуфабриката: целлюлоза сульфатная небеленая хвойная (далее – целлюлоза 1, ГОСТ 12765–88), целлюлоза сульфатная беленая хвойная (далее – целлюлоза 2, ГОСТ 9571–89), целлюлоза сульфатная беленая из лиственных пород древесины (далее – целлюлоза 3, ГОСТ 14940–96) и макулатура марки МС-5 (далее – макулатура). Их подвергали сначала роспуску в дезинтеграторе БМ-3, а затем размолу на лабораторном ролле (ISO 5264/1) до получения волокнистой суспензии со степенью помола 25, 40 и 70 ° ШР. Степень помола определяли на приборе СР-2Т (ISO 5267/1) по ГОСТ 14363.4–89. Для каждой волокнистой суспензии исследовали фракционный состав на установке Messer Buche (Bauer McNett, Великобритания) с фильтрующими сетками сечением 200, 100, 50 и 20 меш, что соответствует 1,19, 0,59, 0,29 и 0,14 мм. Для исходных волокнистых суспензий определяли pH на приборе HANNA PH 212 (Hanna Instruments, Германия).

В приготовленные волокнистые суспензии добавляли исследуемые эмульсии димеров алкилкетенов и модифицированных смоляных кислот канифоли. Концентрация рабочих эмульсий составляла 2,00 %. Содержание ЧДФ в проклеенных бумажных массах при использовании эмульсии AKD (Fennosize KD 225YP) увеличивали от 0,08 до 0,30 % от абсолютно сухого волокна (далее – а. с. в.), а при использовании эмульсий ТМ и ТМАС-3Н – от 0,20 до 2,00 % от а. с. в. В каждом случае обеспечивали равномерное распределение ЧДФ в межволоконном пространстве путем непрерывного перемешивания дисперсной системы в течение 5 мин. Для каждой полученной дисперсной системы определяли pH. При использовании канифольных эмульсий ТМ и ТМАС-3Н в бумажные массы добавляли электролит до достижения pH среды, значение которого находилось в кислой (4,8–5,4) и нейтральной (6,5–7,2) области соответственно. В качестве электролита использовали 10 %-ный раствор сульфата алюминия (ГОСТ 12966–85). Образцы бумаги (элементарные слои картона) массоемкостью 80 г/м^2 получали на листоотливном аппарате Rapid-Ketten (Ernst Haage, Германия) при температуре сушки 100–105 °С с последующей их термообработкой на скоростной сушилке LABTECH SD24E (Labtech Instruments Inc., Канада). Температура термообработки при использовании эмульсии AKD составляла 130 °С, а при применении ТМ и ТМАС-3Н – 120 °С. Гидрофобность образцов бумаги (элементарных слоев картона) характеризовали впитываемостью при одностороннем смачивании, которую определяли по методу Кобба (ISO 535–91), а прочность – разрывной длиной, рассчитанной по стандартной методике (ГОСТ 13525.1–79) с использованием разрушающего усилия в сухом состоянии, определяемого на горизонтальной разрывной машине SE062/064 (Lorentzen&Wettre, Швеция).

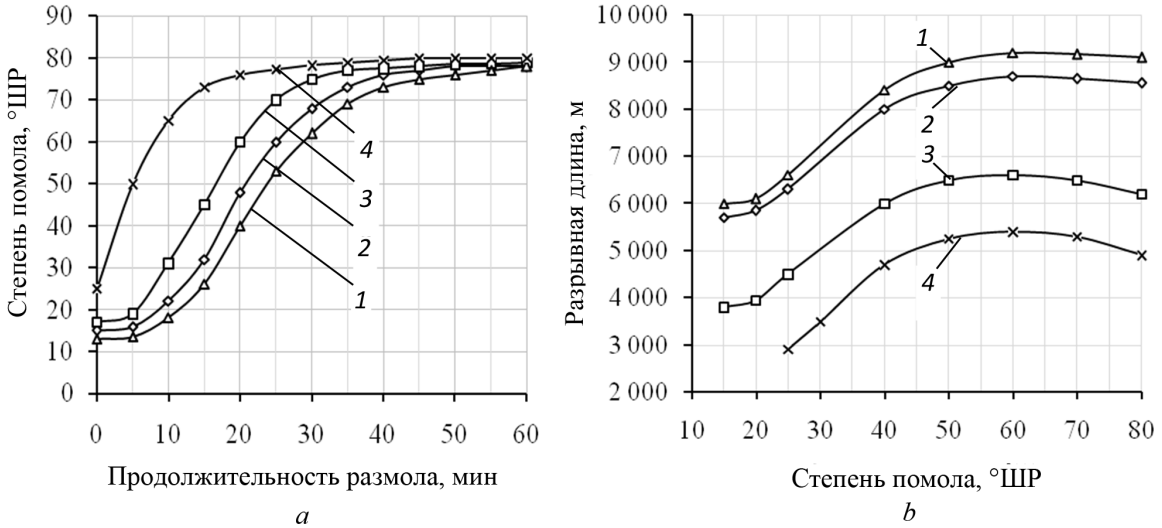


Рис. 2. Влияние продолжительности стадии размола на степень помола волокнистых суспензий (*a*) и разрывную длину образцов бумаги (*b*), изготовленных из: *1* – целлюлозы 1, *2* – целлюлозы 2, *3* – целлюлозы 3 и *4* – макулатуры

Fig. 2. Influence of the grinding stage duration on the grinding degree of the fibrous suspension (*a*) and breaking length of paper samples (*b*) made from: *1* – cellulose 1, *2* – pulp 2, *3* – pulp 3 and *4* – waste paper

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования показали (рис. 2, *a*), что вид волокнистого полуфабриката оказывает значительное влияние на продолжительность стадии размола, на которой последовательно протекают процессы набухания (процесс 1 при 15–25 °ШР), фибриллирования (процесс 2 при 25–70 °ШР) и укорочения волокон (процесс 3 при 70–95 °ШР). Следствием этого является изменение разрывной длины образцов бумаги (элементарных слоев картона) (рис. 2, *b*).

Для исследования влияния содержания ЧДФ проклеивающих эмульсий (AKD, TM и TMAC-3H) на гидрофобность и прочность образцов бумаги (элементарных слоев картона) использовали целлюлозные (три вида) и макулатурную волокнистые суспензии со степенью помола 25, 40 и 70 °ШР, отличающиеся фракционным составом и средневзвешенной длиной волокон (табл. 1). Критерием оценки гидрофобности образцов бумаги (элементарных слоев картона) выбран показатель «впитываемость при одностороннем смачивании». Для высококачественных видов бумаги и картона он не должен превышать 21 г/м^2.

Таблица 1. **Влияние степени помола волокнистых суспензий на их фракционный состав и средневзвешенную длину волокон**

Table 1. **Influence of the grinding degree of fibrous suspensions on their fractional composition and weighted average length of fibers**

Степень помола, °ШР	Содержание фракции, %					Средневзвешенная длина волокон, мм
	размеры ячеек сит, мм					
	1,19	0,59	0,29	0,14	менее 0,14	
Целлюлоза сульфатная небеленая хвойная (целлюлоза 1)						
25	64,5	13,9	12,9	8,3	0,3	2,08
40	55,1	11,8	18,3	11,9	2,9	1,86
70	31,0	23,4	20,9	17,8	6,9	1,56
Целлюлоза сульфатная беленая хвойная (целлюлоза 2)						
25	58,9	15,1	14,5	10,3	1,1	2,29
40	49,4	14,0	19,7	13,2	3,8	1,85
70	17,5	21,2	29,9	24,3	7,1	1,48
Целлюлоза сульфатная беленая из лиственных пород древесины (целлюлоза 3)						
25	0,2	11,9	52,8	30,7	4,4	0,80
40	0,1	8,2	50,1	35,6	5,9	0,62
70	0,1	5,5	31,3	51,5	11,6	0,54
Макулатура						
25	43,7	14,1	24,0	14,8	3,4	1,33
40	24,2	16,7	28,1	23,4	7,6	1,04
70	7,6	17,4	34,7	29,2	11,1	0,75

Установлено (рис. 3, *a*), что повышение степени помола волокнистых суспензий от 25 до 70 °ШР (кривые *1–3*) сопровождается снижением впитываемости при одностороннем смачивании образцов бумаги (элементарных слоев картона) с 104 до 84 г/м^2. Этот положительный эффект объясняется увеличением числа отрицательно заряженных гидроксильных групп на поверхности волокон за счет их фибриллирования на стадии размола и, следовательно, количеством образованных гидрофобных β-кетоэфиров в случае использования эмульсии AKD и осажденных проклеивающих комплексов в случае применения канифольных эмульсий TM и TMAC-3H.

Получено, что гидрофобность образцов бумаги (элементарных слоев картона) (рис. 3, *a*) при использовании эмульсии AKD зависит от степени помола применяемых волокнистых суспензий. Повышение степени помола от 25 до 70 °ШР (кривые *1–3*) способствует снижению содержания ЧДФ в проклеенных бумажных массах от 0,35 до 0,15 % от а. с. в. Полученная зависимость характерна для целлюлозы сульфатной небеленой хвойной (целлюлозы 1) независимо от вида применяемых проклеивающих эмульсий.

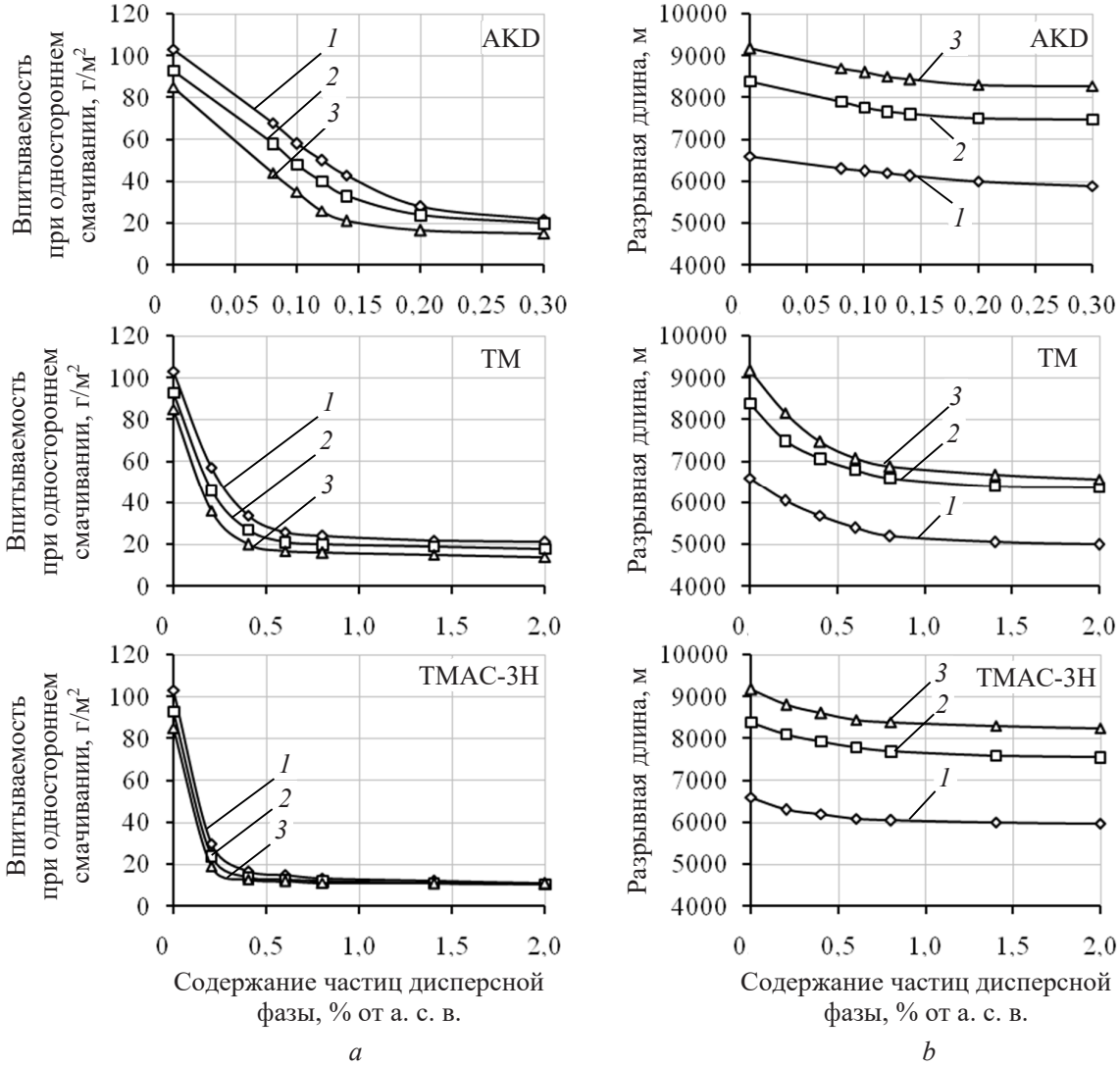


Рис. 3. Впитываемость при одностороннем смачивании (*a*) и разрывная длина (*b*) образцов бумаги, изготовленных из целлюлозной суспензии (целлюлозы 1) со степенью помола 25 °ШР (*1*), 40 °ШР (*2*) и 70 °ШР (*3*) и отличающихся содержанием частиц дисперсной фазы AKD, TM и TMAC-3H

Fig. 3. Absorption at one-sided wetting (*a*) and breaking length (*b*) of paper samples made from cellulose suspension (cellulose 1) with a grinding degree of 25 °SR (*1*), 40 °SR (*2*) and 70 °SR (*3*) and differing in the content of particles of the dispersed phase AKD, TM and TMAS-3N

Использование канифольных эмульсий TM и TMAC-3H с содержанием ЧДФ в проклеенных бумажных массах 2,00 и 0,30 % от а. с. в. соответственно обеспечивает высокую впитываемость при одностороннем смачивании образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из целлюлозы 1 (рис. 3, *a*) со степенью помола суспензии 25 °ШР (кривая *1*). Повышение степени помола от 25 до 40–70 °ШР (кривые *2* и *3*) сопровождается необходимостью увеличения содержания ЧДФ в бумажных массах, которое для канифольных эмульсий TM и TMAC-3H отличается и составляет 0,40 и 0,20 % от а. с. в. соответственно. Дальнейшее повышение содержания этих ЧДФ эмульсий в бумажных массах не оказывает значительного влияния на показатель впитываемости при одностороннем смачивании, который стабилизируется на уровне 18 г/м^2 для эмульсии TM и 16 г/м^2 для TMAC-3H. Поэтому эффективность гидрофобизирующего действия эмульсии TMAC-3H на волокнистые суспензии, изготовленные из целлюлозы 1, зависит от степени их помола и выше в 2,0–6,6 раза по сравнению с эмульсией TM.

Получено, что прочность образцов бумаги (элементарных слоев картона), содержащих в своей структуре ЧДФ AKD, TM и TMAC-3H, зависит от исследованных факторов и вида применяемых

проклеивающих эмульсий. Эмульсия AKD благодаря образованию прочных гидрофобных β-кетоэфирных связей с гидроксильными группами целлюлозных волокон не оказывает существенного влияния на снижение первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из целлюлозы 1 (рис. 3, *b*), которое составляет 8,1–10,8 % (кривые *1–3*). Значительное ухудшение прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) при использовании эмульсии ТМ (от 18,5 до 24,2 %) можно объяснить, по нашему мнению, образованием на волокнах крупнодисперсных, разновеликих проклеивающих комплексов, размеры которых превышают 4200 нм [14] и достигают 6500 нм, что сопровождается протеканием процесса проклейки в режиме гомокоагуляции.

Эффективность применения модифицированных смоляных кислот в целлюлозных и макулатурных суспензиях повышается при замене эмульсии ТМ на ТМАС-3Н благодаря смещению процесса проклейки из традиционного режима гомокоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции [14], при котором проклеивающие комплексы являются мелкодисперсными (размеры не превышают 200 нм) и способны равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон, а также максимально сохранять межволоконные связи. Следствием этого является максимальное сохранение первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона). Об этом свидетельствует компенсация потери прочности при использовании эмульсии ТМАС-3Н в 4,5–18,5 раза по сравнению с эмульсией ТМ.

Следовательно, результаты исследования, полученные при использовании целлюлозы 1, свидетельствуют о том, что канифольная эмульсия ТМАС-3Н по гидрофобизирующему действию на бумажные массы близка к эмульсии AKD и значительно эффективнее (в 1,8–2,1 раза) эмульсии ТМ. Гидрофобизирующее действие проклеивающих эмульсий на волокнистые суспензии, полученные из целлюлозы 1, повышается при увеличении степени помола от 25 до 70 °ШР. По эффективности исследованные эмульсии располагаются в следующей упорядоченной убывающей последовательности (рис. 3, *a*): AKD (0,15–0,35 % от а. с. в.) ≈ ТМАС-3Н (0,20–0,30 % от а. с. в.) > ТМ (0,40–2,00 % от а. с. в.). Установлено, что по оказываемому снижению первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) эмульсии представлены следующей последовательностью (рис. 3, *b*): ТМАС-3Н (1,0–5,3 %) < AKD (8,1–10,8 %) < ТМ (18,5–24,2 %).

Гидрофобизация бумажных масс (рис. 4, *a*), полученных из целлюлозы 2, с использованием эмульсии AKD показала, что с повышением степени помола волокнистой суспензии от 25 до 70 °ШР (кривые *1–3*) регламентируемая гидрофобность бумаги (элементарных слоев картона) достигается при снижении содержания ЧДФ в бумажных массах от 0,50 до 0,15 % от а. с. в., в то время как при применении канифольной эмульсии ТМ от 3,15 до 1,00 % от а. с. в., что больше в 6,3–6,6 раза. Однако замена эмульсии ТМ на ТМАС-3Н позволяет значительно снизить содержание ЧДФ в бумажных массах с 0,60 до 0,35 % от а. с. в., что составляет 2,8–5,2 раза. Полученные результаты подтверждают преимущество эмульсии ТМАС-3Н по сравнению с ТМ. Важно отметить, что при степени помола волокнистой суспензии 25 °ШР (кривая *1*) содержание ЧДФ эмульсий AKD и ТМАС-3Н в бумажных массах сопоставимо и составляет 0,50–0,60 % от а. с. в. Об этом свидетельствует снижение впитываемости при одностороннем смачивании образцов бумаги (элементарных слоев картона) от 21 до 15 г/м^2 уже при сопоставимом содержании ЧДФ (0,80 % от а. с. в.) в бумажных массах (кривые *1–3*), в то время как при использовании эмульсии ТМ – более 2,00 % от а. с. в.

Сохранению первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из целлюлозы 2 (рис. 4, *b*), наиболее эффективно способствует применение эмульсии ТМАС-3Н, которая по сравнению с используемыми эмульсиями AKD и ТМ выше в 1,8–1,9 и 4,2–4,9 раза соответственно.

Следовательно, гидрофобизирующее действие эмульсии ТМАС-3Н на бумажные массы, изготовленные из целлюлозы 2, в 2,8–5,2 раза выше по сравнению с эмульсией ТМ и в 1,2–2,3 раза ниже, чем при использовании эмульсии AKD. По эффективности гидрофобизирующего действия исследованные эмульсии размещаются в следующей упорядоченной убывающей последовательности (рис. 4, *a*): AKD (0,15–0,50 % от а. с. в.) ≈ ТМАС-3Н (0,35–0,60 % от а. с. в.) > ТМ (1,00–3,15 % от а. с. в.). По оказываемому снижению первоначальной прочности на образцы бумаги (элементарные слои картона) проклеивающие эмульсии представлены следующей последовательностью по возрастанию (рис. 4, *b*): ТМАС-3Н (4,0–13,9 %) < AKD (8,4–11,2 %) < ТМ (21,9–26,4 %).

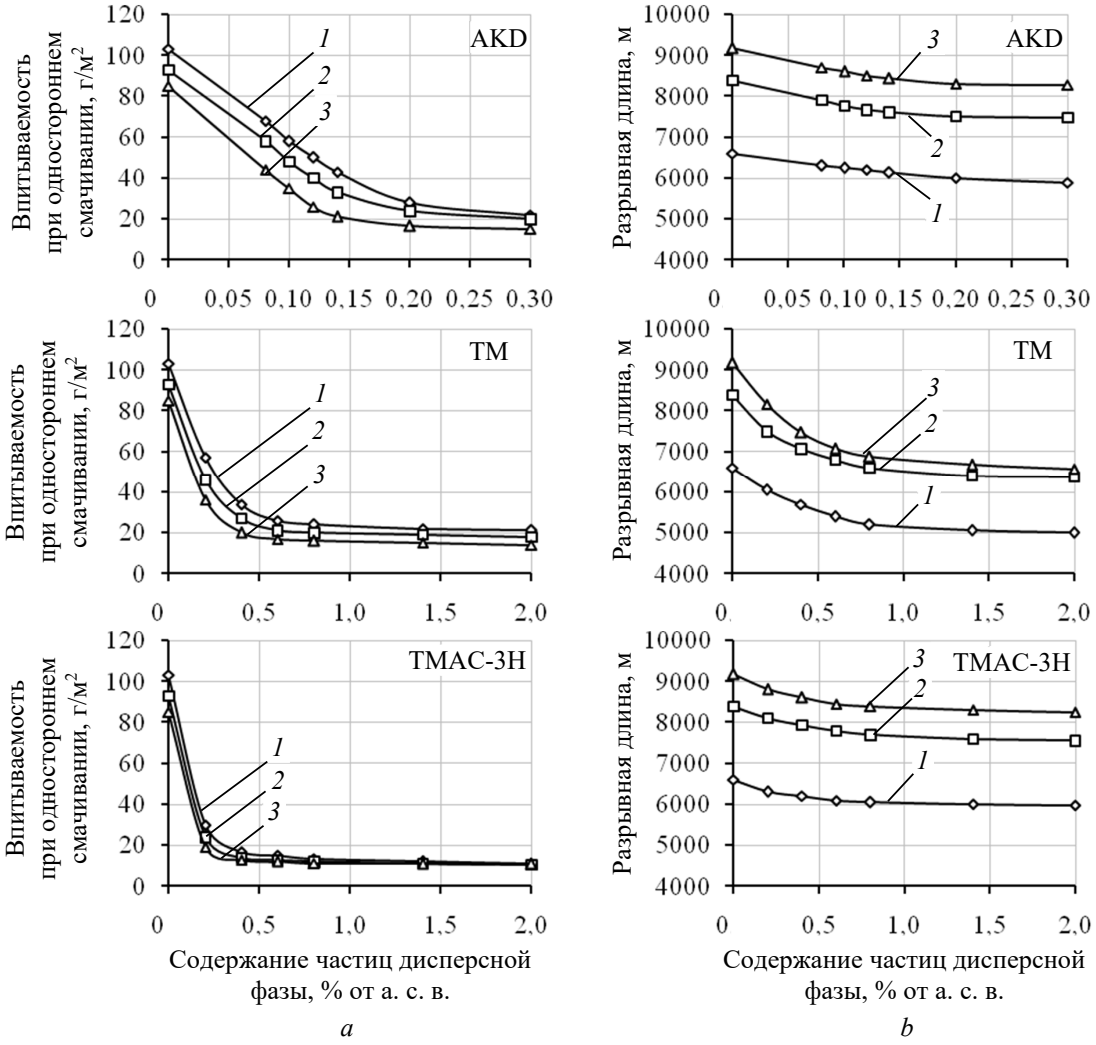


Рис. 4. Впитываемость при одностороннем смачивании (*a*) и разрывная длина (*b*) образцов бумаги, изготовленных из целлюлозной суспензии (целлюлозы 2) со степенью помола 25 °ШР (*1*), 40 °ШР (*2*) и 70 °ШР (*3*) и отличающихся содержанием частиц дисперсной фазы AKD, TM и TMAC-3H

Fig. 4. Absorption at one-sided wetting (*a*) and breaking length (*b*) of paper samples made from cellulose suspension (cellulose 2) with a grinding degree of 25 °SR (*1*), 40 °SR (*2*) and 70 °SR (*3*) and differing in the content of particles of the dispersed phase AKD, TM and TMAS-3N

Применение целлюлозы 3 (рис. 5, *a*) в качестве волокнистого полуфабриката позволило установить, что содержание ЧДФ эмульсии AKD в проклеенных бумажных массах, обеспечивающее высокую гидрофобность образцов бумаги (элементарных слоев картона), сопоставимо с использованием целлюлозы 1 и 2 и с повышением степени помола волокнистой суспензии от 25 до 70 °ШР (кривые *1–3*) снижается с 0,45 до 0,12 % от а. с. в. Эффективность гидрофобизирующего действия эмульсии TM по сравнению с AKD значительно ниже, что подтверждается необходимостью повышения содержания ее ЧДФ в бумажных массах в 2,8–7,5 раза, что составляет от 0,90 до 1,30 % от а. с. в. Минимальная впитываемость при одностороннем смачивании (16–18 г/м^2) образцов бумаги (элементарных слоев картона) достигается при содержании ЧДФ эмульсии TM в проклеенной бумажной массе от 1,50 до 2,00 % от а. с. в. Применение эмульсии TMAC-3H по сравнению с TM позволяет снизить необходимое содержание ЧДФ в бумажных массах до 0,50–0,75 % от а. с. в. Это свидетельствует о том, что эффективность гидрофобизирующего действия эмульсии TMAC-3H в 1,73–1,80 раза выше по сравнению с эмульсией TM.

Снижение первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из целлюлозы 3 (рис. 5, *b*), при использовании эмульсий AKD и TMAC-3H является

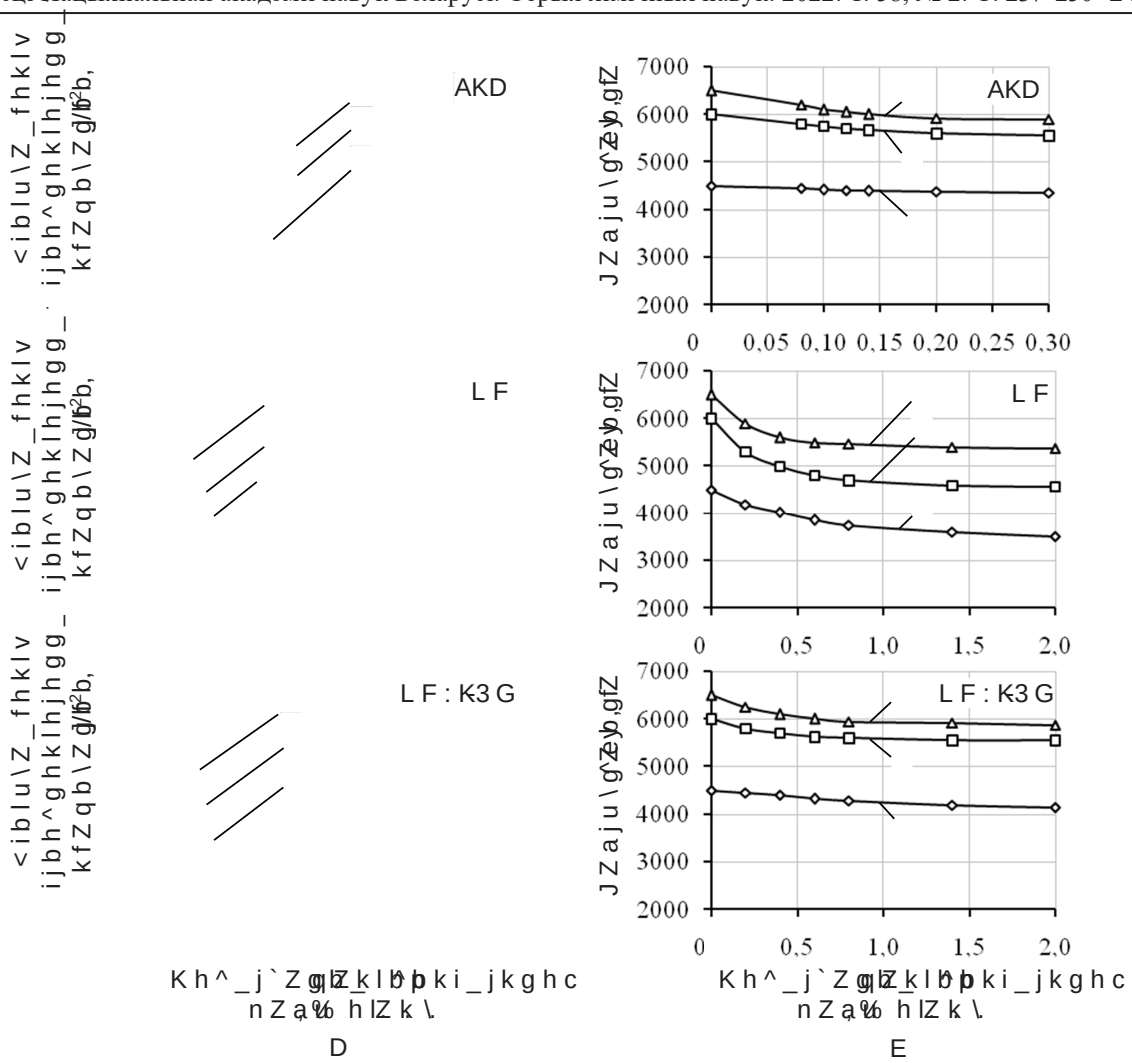


Рис. 5. Впитываемость при одностороннем смачивании (*a*) и разрывная длина (*b*) образцов бумаги, изготовленных из целлюлозной суспензии (целлюлозы 3) со степенью помола 25 °ШР (*1*), 40 °ШР (*2*) и 70 °ШР (*3*) и отличающихся содержанием частиц дисперсной фазы AKD, TM и TMAC-3H

Fig. 5. Absorption at one-sided wetting (*a*) and breaking length (*b*) of paper samples made from cellulose suspension (cellulose 3) with a grinding degree of 25 °SR (*1*), 40 °SR (*2*) and 70 °SR (*3*) and differing in the content of particles of the dispersed phase AKD, TM and TMAS-3N

сопоставимым и варьируется от 4,6 до 6,9 % и от 4,4 до 6,9 % соответственно. Наибольшее влияние на снижение первоначальной образцов бумаги (элементарных слоев картона) оказывает эмульсия TM, которая по сравнению с эмульсией TMAC-3H показала результаты в 2,3–4,5 раза ниже.

Следовательно, по гидрофобизирующему действию оказываемому на бумажные массы, изготовленные из целлюлозы 3, исследуемые эмульсии представлены следующей убывающей последовательностью (рис. 5, *a*): AKD (0,12–0,45 % от а. с. в.) ≈ TMAC-3H (0,50–0,75 % от а. с. в.) > TM (0,90–1,30 % от а. с. в.). По снижению первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) эмульсии димеров алкилкетенов и модифицированных смоляных кислот располагаются в следующей возрастающей последовательности (рис. 5, *b*): TMAC-3H (4,4–6,9 %) < AKD (4,6–7,5 %) < TM (16,0–20,0 %).

Особенностью применения эмульсии AKD для гидрофобизации макулатурных масс (рис. 6, *a*) является полная или частичная блокировка гидроксильных групп целлюлозных волокон ранее введенными химическими веществами. Это объясняет более низкое содержание ЧДФ эмульсии AKD в проклеенных макулатурных массах (0,12–0,17 % от а. с. в.) по сравнению с целлюлозными (0,12–0,50 % от а. с. в.).

пятствует снижению первоначальной прочности по сравнению с эмульсией ТМ в 2,8–4,8 раза и эмульсией AKD в 2,1–5,5 раза.

Следовательно, исследованные эмульсии по убыванию их гидрофобизирующего действия на макулатурные массы располагаются в последовательности (рис. 6, *a*): AKD (0,12–0,17 % от а. с. в.) > ТМАС-3Н (0,20–0,50 % от а. с. в.) > ТМ (0,50–1,20 % от а. с. в.), а по снижению первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона) в следующей возрастающей последовательности (рис. 6, *b*): ТМАС-3Н (1,8–5,1 %) < AKD (10,0–11,1 %) < ТМ (8,8–14,5 %).

Сопоставительный анализ результатов проведенного исследования (рис. 3–6) позволяет установить особенности применения эмульсий димеров алкилкетенов (AKD) и модифицированных смоляных кислот (ТМ и ТМАС-3Н) в волокнистых суспензиях, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2. **Влияние вида волокнистых суспензий на особенности применения проклеивающих эмульсий**

Table 2. **Influence of the type of fibrous suspensions on the features of the use of sizing emulsions**

Вид проклеивающих эмульсий	Содержание частиц дисперсной фазы проклеивающих эмульсий, % от а. с. в.											
	вид волокнистых суспензий											
	целлюлоза 1			целлюлоза 2			целлюлоза 3			макулатура		
	степень помола, °ШР											
	25	40	70	25	40	70	25	40	70	25	40	70
AKD	0,35	0,30	0,15	0,50	0,30	0,15	0,45	0,35	0,12	0,17	0,15	0,12
ТМ	2,00	0,80	0,40	3,15	1,50	1,00	1,30	1,25	0,90	1,20	0,80	0,50
ТМАС-3Н	0,30	0,22	0,20	0,60	0,50	0,35	0,75	0,60	0,50	0,50	0,35	0,20

Установлено, что по убыванию гидрофобизирующей способности на бумажные массы из первичных и вторичных волокнистых полуфабрикатов исследованные эмульсии представлены следующей последовательностью: AKD > ТМАС-3Н > ТМ. При этом эмульсия AKD наиболее эффективна при гидрофобизации первичных полуфабрикатов (целлюлозы), что подтверждается меньшим содержанием ее ЧДФ в проклеенных бумажных массах, изготовленных из макулатуры (табл. 2). Эмульсии модифицированных смоляных кислот (ТМ и ТМАС-3Н) эффективны для гидрофобизации волокнистых суспензий, полученных из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) полуфабрикатов, о чем свидетельствует сопоставимое содержание их ЧДФ в бумажных массах.

Получено, что исследованные эмульсии (AKD, ТМ и ТМАС-3Н) в разной степени снижают первоначальную прочность образцов бумаги (элементарных слоев картона) (табл. 3). Это относится к проклеенным как целлюлозным, так и макулатурным волокнистым суспензиям. По способности максимально сохранять первоначальную прочность наиболее эффективной является эмульсия ТМАС-3Н (целлюлоза 1 > макулатура > целлюлоза 3 > целлюлоза 2). Эмульсия AKD уступает эмульсии ТМАС-3Н, поскольку ее присутствие в проклеенных бумажных массах в большей степени снижает первоначальную прочность (целлюлоза 3 > целлюлоза 1 > целлюлоза 2 > макулатура). Особенностью применения эмульсии ТМ является то, что сформированные крупнодисперсные проклеивающие комплексы снижают вероятность образования межволоконных связей; это относится к первичным (целлюлозы) и вторичным (макулатуры) волокнистым полуфабрикатам, использование которых вызывает снижение прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона).

Применение канифольной эмульсии ТМАС-3Н по сравнению с синтетической AKD имеет два основных преимущества, которые позволяют повысить энергоэффективность процесса получения высококачественных видов бумаги и картона. Отмеченный положительный эффект объясняется двумя причинами: во-первых, снижением энергозатрат на стадии размола волокнистых суспензий, что обусловлено меньшей зависимостью гидрофобизирующего действия эмульсии ТМАС-3Н от количества активных гидроксильных групп целлюлозных волокон и, во-вторых, понижением температуры на стадии термообработки с 130–135 до 110–120 °С.

Таблица 3. **Влияние вида проклеивающей эмульсии на снижение первоначальной прочности образцов бумаги (элементарных слоев картона), изготовленных из целлюлозных и макулатурных суспензий**

Table 3. **Influence of the type of sizing emulsion on the decrease in the initial strength of paper samples (elementary layers of cardboard) made from cellulose and waste paper suspensions**

Вид проклеивающих эмульсий	Снижение первоначальной прочности, %											
	вид волокнистых суспензий											
	целлюлоза 1			целлюлоза 2			целлюлоза 3			макулатура		
	Степень помола, °ШР											
	25	40	70	25	40	70	25	40	70	25	40	70
AKD	10,8	10,5	8,1	11,2	10,8	8,4	4,6	7,5	6,9	11,1	11,0	10,0
TM	24,2	21,4	18,5	26,4	22,5	21,9	20,0	23,0	16,0	14,5	25,5	8,8
TMAC-3H	5,3	3,5	1,0	13,9	6,2	4,0	4,4	6,3	6,9	5,1	4,2	1,8

Выводы. Установлено, что гидрофобность клееных видов бумаги и картона, обладающих высокой впитываемостью при одностороннем смачивании (не более 21 г/м^2) при максимальном сохранении их первоначальной прочности, существенно зависит от вида волокнистого полуфабриката (исследовали целлюлозу сульфатную небеленую хвойную (целлюлозу 1), целлюлозу сульфатную беленую хвойную (целлюлозу 2), целлюлозу сульфатную беленую из лиственных пород древесины (целлюлозу 3) и макулатуру), степени помола волокнистой суспензии (25–70 ° ШР), вида проклеивающей эмульсии (AKD, TM и TMAC-3H) и содержания частиц ее дисперсной фазы в бумажных массах (от 0,08 до 2,00 % от а. с. в.).

Эффективность применения эмульсий димеров алкилкетенов (AKD) повышается при замене макулатурных суспензий на целлюлозные, поскольку достигаемый эффект гидрофобизации зависит от количества образованных β-кетоэфиров на стадии термообработки бумаги и картона при температуре 130–135 °С. Этому способствует повышение степени помола волокнистых суспензий от 25 до 70 °ШР, в результате чего увеличивается количество отрицательно заряженных центров (гидроксильных групп) на поверхности волокон, что позволяет уменьшить необходимое содержание эмульсии AKD в целлюлозных суспензиях с 0,30 до 0,15 % от а. с. в., макулатурных – от 0,12 до 0,17 % от а. с. в.

Эффективность применения эмульсий смоляных кислот канифоли, модифицированных моноэтилцеллозольвмалеинатом (TM) и моноэтаноламином (TMAC-3H), основана на дополнительном использовании электролита (сульфата алюминия), что способствует сначала образованию положительно заряженных проклеивающих комплексов, а затем электростатическому взаимодействию их с поверхностью целлюлозных (отрицательно заряженных) и макулатурных (электронейтральных) волокон. Установлено, что предпочтительное содержание эмульсии TM в бумажных массах существенно зависит от вида волокнистого полуфабриката и составляет, % от а. с. в.: 0,50–1,20 для макулатуры, 0,40–2,00 для целлюлозы 1, 0,90–1,30 для целлюлозы 3 и 1,20–2,00 для целлюлозы 2. Процесс гидрофобизации бумаги и картона сопровождается снижением их первоначальной прочности на 8,8–25,5 % для макулатуры, 16,0–23,0 % для целлюлозы 3, 18,5–24,2 % для целлюлозы 1 и 21,9–26,4 % для целлюлозы 2. Особенностью канифольной эмульсии TMAC-3H является наличие в ее составе частиц дисперсной фазы, полученных на основе амидов смоляных кислот канифоли. Это позволяет использовать ее для гидрофобизации волокнистых суспензий, изготовленных из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) полуфабрикатов. Замена канифольной эмульсии TM на TMAC-3H позволяет сократить расход проклеивающего вещества в 1,8–6,6 раза и минимизировать снижение первоначальной прочности бумаги и картона от 13,9 до 1,0 %. Предпочтительное содержание эмульсии TMAC-3H (% от а. с. в.) в бумажных массах зависит от вида волокнистого полуфабриката и составляет: 0,20–0,30 для целлюлозы 1, 0,20–0,50 для макулатуры, 0,36–0,60 для целлюлозы 2 и 0,50–0,75 для целлюлозы 3.

Таким образом, эффективность применения проклеивающих эмульсий димеров алкилкетенов (AKD) и модифицированных смоляных кислот (TM и TMAC-3H) оценивается предпочтительным содержанием их в бумажных массах при одновременном максимальном сохранении первоначальной прочности бумаги и картона. По гидрофобизирующему действию на бумагу и картон проклеи-

вающие эмульсии располагаются в следующей убывающей последовательности: AKD (0,12–0,30 % от а. с. в.) > ТМАС-3Н (0,20–0,75 % от а. с. в.) > ТМ (0,40–2,00 % от а. с. в.). При этом их применение в волокнистых суспензиях (целлюлозных и макулатурных) при указанных содержаниях в бумажных массах сопровождается допустимым снижением потери первоначальной прочности бумаги и картона.

Список использованных источников

1. Bildik, A. E. A Perspective on various alkyl ketene dimer (AKD) application areas / A. E. Bildik // Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University. – 2017. – Vol. 67, N 1. – P. 103–108. http://doi.org/10.17099/jffiu.74987

2. Bildik, A. E. Alkyl Ketene Dimer (AKD) sizing of paper under simplified treatment conditions / A. E. Bildik, M. A. Hubbe, K. B. Gurboy // Tappi Journal. – 2016. – Vol. 15, N 8. – P. 545–552.

3. Hundhausen, U. Use of Alkyl Ketene Dimer (AKD) for surface modification / U. Hundhausen, H. Militz, C. Mai // European Journal of Wood and Wood Products. – 2009. – N 67. – P. 37–45. https://doi.org/10.1007/s00107-008-0275-z

4. Hutton, B. Sizing Effects via AKD Vaporisation / B. Hutton, W. Shen // Appita: Technology, Innovation, Manufacturing, Environment. – 2005. – Vol. 58, N 5. – P. 367–373.

5. Chernaya, N. V. Reduction energy consumption of paper and cardboard machines in production of glued paper and cardboard / N. V. Chernaya, V. L. Fleisher, N. I. Bogdanovich // Изв. вузов. Лесной журн. – 2019. – № 5. – С. 188–193.

6. Lindstrom, T. On the mechanism of sizing with alkylketene dimers. Part 1. Studies on the amount of alkylketene dimer required for sizing different pulps / T. Lindstrom, G. Soderberg // Nordic Pulp Paper Research Journal. – 1986. – Vol. 1, N 1. – P. 26–33.

7. Seo, W.S. Possibility of hydrogen bonding between AKD and cellulose molecules during AKD sizing / W. S. Seo, N. S. Cho, S. Ohga // Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University. – 2008. – Vol. 53, N 2. – P. 405–410.

8. Hagiopol, C. Chemistry of modern papermaking / C. Hagiopol, J. W. Johnston. – Boca Raton, CRC Press, 2012 – 431 p. https://doi.org/10.1201/b11011

9. Hubbe, M. Paper's resistance to wetting – a review of internal sizing chemicals and their effects / M. Hubbe // BioResources. – 2006. – N 2 (1). – P. 106–145. https://doi.org/10.15376/biores.2.1.106-145

10. Bildik, A. E. Neutral/alkaline sizing of paper with fortified, saponified wood rosin premixed with alum and retained using cationic polymer / A. E. Bildik, M. A. Hubbe, M. E. Gule // Appita Journal. – 2019. – Vol. 72, N 1. – P. 39–49.

11. Nitzman, A. F. Sizing variations of dispersed rosin sizes with fortification, hardness, pH, and temperature / A. F. Nitzman, A. T. Royappa // Tappi Journal. – 2003. – Vol. 2, N 4. – P. 8–11.

12. Holik, H. Handbook of paper and board / H. Holik. – Wiley-VCH, 2013. – 528 p. https://doi.org/10.1002/3527608257

13. Lauzon, R. V. New cationic dispersed rosin size – Field trials and successes / R. V. Lauzon // Proc. TAPPI Engineering and Papermakers Conference. – TAPPI Press, Atlanta, 1997. – P. 819–836.

14. Chernaya, N. V. The creation and implementation of the resource-conserving technology of paper and paperboard sizing with hydrodispersions of modified rosin in the mode of heteroadagulation of peptized particles / N. V. Chernaya, V. L. Fleisher, N. V. Zholnerovich // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – Т. 2, N 2. – P. 87–101.

15. Опытно-промышленное производство высокосмоляного клея с улучшенными проклеивающими свойствами / В. Л. Флейшер [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10, № 4. С. 59–62.

16. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами / А. А. Остапенко [и др.] // Химия растительного сырья. – 2012. – № 1. – С. 187–190.

17. Мишурина, О. А. Способы гидрофобизации и упрочнения композиционных целлюлозных материалов из вторичного сырья / О. А. Мишурина, О. А. Ершова // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 10. – С. 363–366.

18. Иванов, С. Н. Технология бумаги / С. Н. Иванов. – Изд. 3-е, переработ. – М.: Лесн. пром-сть, 2006. – 696 с.

References

1. Bildik A. E. A Perspective on various alkyl ketene dimer (AKD) application areas. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 2017, vol. 67, no. 1, pp. 103–108. http://doi.org/10.17099/jffiu.74987

2. Bildik A.E., Hubbe M.A., Gurboy K.B. Alkyl Ketene Dimer (AKD) sizing of paper under simplified treatment conditions. *Tappi Journal*, 2016, vol. 15, no. 8, pp. 545–552.

3. Hundhausen U., Militz H., Mai C. Use of Alkyl Ketene Dimer (AKD) for surface modification. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2009, vol. 67, pp. 37–45. https://doi.org/10.1007/s00107-008-0275-z

4. Hutton B., Shen W. Sizing Effects via AKD Vaporisation. *Appita Technology, Innovation, Manufacturing, Environment*, 2005, vol. 58, no. 5, pp. 367–373.

5. Chernaya N.V., Fleisher V. L., Bogdanovich N. I. Reduction energy consumption of paper and cardboard machines in production of glued paper and cardboard. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal = Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal),* 2019, no. 5, pp. 188–193.

6. Lindstrom T., Soderberg G. On the mechanism of sizing with alkylketene dimers. Part 1. Studies on the amount of alkylketene dimer required for sizing different pulps. *Nordic Pulp Paper Research Journal*. 1986, vol. 1, no. 1, pp. 26–33.

7. Seo W. S., Cho N. S., Ohga S. Possibility of hydrogen bonding between AKD and cellulose molecules during AKD sizing. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*. 2008, vol. 53, no. 2, pp. 405–410.

8. Hagiopol C., Johnston J. W. *Chemistry of modern papermaking*. Boca Raton, CRC Press, 2012. 431 p. https://doi.org/10.1201/b11011

9. Hubbe M. Paper's resistance to wetting – a review of internal sizing chemicals and their effects. *BioResources*. 2006, no. 2 (1), pp. 106–145. https://doi.org/10.15376/biores.2.1.106-145

10. Bildik, A.E. Hubbe M.A., Gule M.E. Neutral/alkaline sizing of paper with fortified, saponified wood rosin premixed with alum and retained using cationic polymer. *Appita Journal*. 2019, vol. 72, no. 1, pp. 39–49.

11. Nitzman A.F. Royappa A.T. Sizing variations of dispersed rosin sizes with fortification, hardness, pH, and temperature. *Tappi Journal*. 2003, vol. 2, no. 4, pp. 8–11.

12. Holik H. *Handbook of paper and board*. Wiley-VCH, 2013. 528 p. https://doi.org/10.1002/3527608257

13. Lauzon R. V. New cationic dispersed rosin size – field trials and successes. *Proc. TAPPI Engineering and Papermakers Conference*. TAPPI Press, Atlanta, 1997, pp. 819–836.

14. 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 the mode of heteroadagulation of peptized particles. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. prikladnaya ekologiya. Urbanistika = Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics*, 2017, vol. 2, no. 2, pp. 87–101.

15. Fleisher V. L., Lamotkun A. I., Chernyshova T. V., Chernaya N. V., Bondarenko Zh. V. The Experimental-Industrial Production Of Highly Resinous Glue With The Improved Sizing Characteristics. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials, technologies, tools], 2005, vol. 10, no. 4, pp. 59–62 (in Russian).

16. Ostapenko A. A., Moroz V. N., Barbash V. A., Kozhevnikov S. Yu., Dubovyy V. K., Koverninskiy I. N. Improving the quality of paper from waste paper with chemical functional substances. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2012, no. 1, pp. 187–190 (in Russian).

17. Mishurina O. A., Ershova O. A. 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).

18. Ivanov S. N. *Paper technology*. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 2006. 696 p. (in Russian).

Информация об авторах

Флейшер Вячеслав Леонидович – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13 а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: v_fleisher@list.ru

Черная Наталья Викторовна – д-р. техн. наук, профессор. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13 а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: chornaya@belstu.by

Шашок Жанна Станиславовна – д-р. техн. наук, доцент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13 а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shashok@belstu.by

Information about the authors

Fleisher Viachaslau L. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor. Head of Department. Belarusian State Technological University (13 a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v_fleisher@list.ru

Chornaya Nataliya V. – D. Sc. (Engineering), Professor. Belarusian State Technological University (13 a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chornaya@belstu.by

Shashok Zhanna S. – D. Sc. (Engineering), Associate Professor. Belarusian State Technological University (13 a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shashok@belstu.by