

3. Добавка в композицию материала хлорида алюминия обеспечивает необходимую технологическую прочность и капиллярную впитываемость и дает возможность использовать данный композиционный материал в качестве охлаждающих элементов для аппаратов охлаждения воздуха испарительного типа в соответствии с СанПиНами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубовый, В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2006. 370 с.

2. Безлаковский А.И., Дубовый В.К., Сысоева Н.В., Коваленко В.В. Связеобразование в системе «минеральное волокно–минеральное связующее» // Материалы XIX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Волгоград, 2011. С. 32.

3. Дубовой, Е.В. Бумага на основе стеклянных волокон для аппаратов охлаждения воздуха испарительного типа: дис... к-та техн. Наук. СПб., 2017. 175 с.

4. Непенин, Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. Т. II. Производство сульфатной целлюлозы: - 2-е изд., перераб. – М.: Лесная промышленность, 1990. 600 с. ISBN 5-7120-0266-3.

5. Дубовой Е.В., Свиридов Е.Б., Щербак Н.В., Дубовый В.К. Энергосберегающая экологически безопасная технология охлаждения воздуха аппаратами испарительного типа. Спб.: Изд-во Политехн. унта, 2017. 286 с.

УДК 676.024.7:544.77

Н. В. Черная, проф., д-р техн. наук

В.Л. Флейшер, доц., канд. техн. наук, О.А. Мисюров, соискатель
v_fleisher@list.ru, omisurov@mail.ru (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ ВЗАМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ВЫСОКОСМОЛЯНЫХ И НЕЙТРАЛЬНЫХ ГИДРОДИСПЕРСИЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КАНИФОЛИ И ГИДРОКСОСОЕДИНЕНИЯМИ АЛЮМИНИЯ $Al(OH)_6^{3+}$, $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$ И $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$

Известно [1], что для придания бумаге и картону гидрофобных свойств в волокнистую суспензию последовательно дозируют высокосмоляные или нейтральные гидродисперсии модифицированной канифоли (ГМК) и раствор электролита, содержащий различные формы

гидроксосоединения алюминия (ГСА), к числу которых относятся $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$.

Высокосмоляные ГМК применяют для проклейки бумажных масс в нейтральной среде (рН 6,5–7,2), а нейтральные ГМК – в кислой среде (рН 4,8–5,2). Они существенно отличаются содержанием нейтрализованных и свободных и смоляных кислот. Степень нейтрализации смоляных кислот в высокосмоляных ГМК не превышает 40%, в то время как в нейтральных ГМК – более 94%.

При этом структура исходных частиц дисперсной фазы ГМК зависит от способов модификации смоляных кислот канифоли RCOOH (где $\text{R} = -\text{C}_{19}\text{H}_{29}$), степени их нейтрализации и стабилизации. Качественное и количественное распределение ГСА в растворе электролита зависит от его рН [2]. Поэтому коллоидно-химические взаимодействия, протекающие между частицами дисперсной фазы высокосмоляных или нейтральных ГМК и ГСА, влияют на структуру образовавшихся коагулюмов и степень их агрегирования. Следствием этого является формирование проклеивающих комплексов, существенно отличающихся структурой, дисперсностью, электрокинетическим потенциалом и проклеивающими свойствами.

Традиционная технология канифольной проклейки основывается на том, что проклеивающие комплексы, образовавшиеся, как впервые установлено нами [3, 4], во второй области коагуляции ГМК, являются не только разновеликими и крупнодисперсными (размер превышает 2500 и достигает 5700 нм), но и разнопотенциальными (электрокинетический потенциал находится в диапазоне от –20 до +20 мВ). Это, по нашему мнению, является основной причиной того, что процесс канифольной проклейки бумаги и картона протекает в режиме гомокоагуляции. Характер коагуляционного процесса зависит не только от содержания в микрогетерогенной системе электролита ($R_{эл}$), но и от качественного и количественного распределения в нем форм ГСА ($R_{ГСА}$). При этом на дисперсность образовавшихся коагулятов влияют как коллоидно-химические свойства ГМК, так и содержание в микрогетерогенной системе форм ГСА ($\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$). В то же время степень агрегирования коагулюмов зависит от их структуры и электрокинетического потенциала.

Разработанная технология канифольной проклейки основывается на формировании сначала коагулятов, образовавшихся не во второй, а в первой области коагуляции ГМК и способных пептизироваться (деагрегироваться) в присутствии ионов-пептизаторов $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, а затем на образовании новых проклеивающих комплексов в виде мелкодисперсных (размер 120–260 нм) положительно заряженных пепти-

зированных частиц с электрокинетическим потенциалом от +30 до +50 мВ и более.

Ниже приведены результаты исследования, направленные на изучение особенностей протекающих коллоидно-химических взаимодействий между частицами дисперсной фазы нейтральных и высокосмоляных ГМК и гидроксосоединениями алюминия (ГСА) $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$, что позволило научно обосновать необходимость смещения традиционного режима гомокоагуляции к более эффективному режиму гетероадагуляции пептизированных частиц, что представляет научный и практический интерес.

Цель исследования – изучение особенностей коллоидно-химических взаимодействий в микрогетерогенных системах «нейтральная ГМК – ГСА» и «высокосмоляная ГМК – ГСА» на основе исследования влияния $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$ на структуру и свойства проклеивающих комплексов, образовавшихся в первой и второй областях электролитной коагуляции и в области пептизации.

Нами впервые установлено [3, 4], что после добавления ГСА к нейтральным и высокосмоляным ГМК происходят следующие процессы: а) *в первой области коагуляции* ГМК образуются коагуломы, способные агрегироваться с образованием коагулятов (K_1), способных пептизироваться; б) последующее добавление ионов $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, оказывающих пептизирующее (деагрегирующее) действие на коагуляты K_1 , позволяет получить новые проклеивающие комплексы в виде пептизированных частиц; эти данные свидетельствуют о существовании *области пептизации*; в) *во второй области* коагуляции ГМК, когда содержание электролита в дисперсной системе превышает содержание ГМК в 3 раза и более, процесс агрегирования коагуломов возобновляется и вновь образуются коагуляты (K_2), не способные пептизироваться из-за повышенной степени агрегирования. Установлено, что на скорость образования коагулятов и их пептизацию заметное влияние оказывает содержание в дисперсной системе гидроксосоединений алюминия $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$.

В качестве объекта исследования выбраны дисперсные системы, содержащие постоянное количество частиц дисперсной фазы ГМК ($R_0 = 4,0 \cdot 10^{-3}$ г) и такое количество электролита ($R_{эл}$, г), которое способствует сначала протеканию коагуляционного процесса в первой области, а затем обеспечивает пептизацию образовавшихся коагулятов; последующее увеличение содержания электролита в дисперсной системе приводит к возобновлению коагуляционного процесса во второй области. Для управления этими процессами применяли растворы электролита, отличающиеся содержанием в них ионов

$\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$ (R_1 , %), $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ (R_2 , %) и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$ (R_3 , %). Объем дисперсной системы во всех опытах был постоянным и составлял 40,000 г.

ГМК получали путем разведения водой до концентрации 0,02% следующих товарных продуктов модификации талловой (а) и живичной (б) канифолей: а) ТМВС-2Н, Sacocell-309 и ТМ; б) ЖМ. Исследуемые ГМК отличались структурой частиц дисперсной фазы (табл. 1), т. к. для модификации их смоляных кислот применяли различные вещества, а также изменяли степени нейтрализации карбоксильных групп и условия стабилизации частиц дисперсной фазы ГМК.

Для модификации смоляных кислот канифоли использовали следующие вещества: R^I – моноэфир малеинового ангидрида с высшими алифатическими н-спиртами фракции C_{12} – C_{18} ; R^{II} – триэтаноламин; R^{III} – моноэтилцеллозольмалеинат; R^{IV} – моноэтаноламин.

Для электролитной коагуляции исследуемых ГМК и обеспечения пептизации образовавшихся коагулятов применяли 0,5%-ный раствор сульфата алюминия (ГОСТ 12966-85) с рН 1,95, 3,50 и 4,30. Свежеприготовленный раствор электролита имел рН 3,50 и, как известно [2], содержал 90% $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$ и 10% $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$. Снижение рН его раствора до 1,95 осуществляли добавлением к нему 0,5 н раствора HCl , а повышение рН до 4,30 – добавлением 24%-ного раствора NH_4OH . Поэтому в растворе электролита с рН 1,95 содержалось 100% $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, а в растворе электролита с рН 4,30 – 85% $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, 10% $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ и 5% $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$.

Элементный состав коагулюмов и пептизированных частиц определяли по методу электронно-зондового энергодисперсного рентгенофлуорисцентного анализа на растровом электронном микроскопе (модель JSM-5610 LV). Величину электрокинетического потенциала коагулюмов и образовавшихся из них коагулятов, а также пептизированных частиц определяли по методу макроэлектрофореза [5]. Представленные в табл. 2 данные относятся к дисперсным системам, содержащим частицы дисперсной фазы высокосмоляной ГМК (ТМВС-2Н). Аналогичные данные получены для других исследуемых систем.

В первой области коагуляции ГМК образуются коагулюмы, элементный состав которых зависит от качественного и количественного распределения ГСА ($R_{\text{ГСА}} = R_1 + R_2 + R_3$) в растворе добавленного электролита ($R_{\text{эл}} = 5,4 \cdot 10^{-4}$ г). Особенно заметно это отражается на содержании в структуре коагулюмов алюминия Al и серы S. Данные табл. 2 позволили нам предположить структуры коагулюмов (табл. 3), образовавшихся коагуляты в первой области коагуляции исследуемых ГМК.

Таблица 1 – Структура частиц дисперсной фазы в исходных высокосмоляных и нейтральных ГМК

Состав ядра	Адсорбционный слой	Диффузный слой
Высокосмоляная ГМК (ТМВС-2Н)		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOR}^I \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$s \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOR}^I \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot t (\text{HONH}_3\text{-R}^I\text{-COO}^-) \cdot (2s + t - y) \text{Na}^+$	$y \text{Na}^+$
Высокосмоляная ГМК (Sacosell-309)		
$\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b \left(\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot c (\text{HONH}_3\text{-R}^{IV}\text{-COO}^-) \cdot (2b + c - d) \text{Na}^+$	$d \text{Na}^+$
Нейтральная ГМК (ТМ)		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot (2b - c) \text{Na}^+$	$c \text{Na}^+$
Нейтральная ГМК (ЖМ)		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot (3n - y) \text{Na}^+$	$y \text{Na}^+$

Пептизированные частицы, полученные в результате дезагрегирования коагулятов, образовавшихся в первой области коагуляции ГМК, получены нами после дополнительного добавления в микрогетерогенную систему электролита ($R_{\text{доп}}$) с рН 1,95, содержащего 100% $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$.

Для обеспечения пептизации коагулятов необходимо, чтобы $R_{\text{доп}} = (8,0 \cdot 10^{-4} - 5,4 \cdot 10^{-4}) = 2,6 \cdot 10^{-4}$ г. Заметное увеличение содержания в структуре коагулюма серы S, достигающее 35,57% масс. (20,97% атомных), и достаточно высокое содержание кислорода O, равное 28,05% масс. (33,15% атомных), свидетельствует о присутствии в адсорбционном и диффузном слоях коагулюмов ионов SO_4^{2-} . Эти данные послужили основанием предположить структуру пептизированных частиц (табл. 4), образовавшихся в дисперсных системах «нейтральная ГМК – ГСА» и «высокосмоляная ГМК – ГСА».

Во второй области коагуляции ГМК, когда в дисперсной системе присутствует избыточное количество $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^2$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$, процесс агрегирования коагулюмов возобновляется. Образовавшиеся коагуляты являются разновеликими и крупнодисперсными и не способны пептизироваться.

Таблица 2 – Влияние гидроксо соединений алюминия $Al(H_2O)_6^{3+}$ (R_1), $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$ (R_2) и $Al(H_2O)_4(OH)^{2+}$ (R_3) на элементный состав коагулюмов, образовавшихся коагуляты, и пептизированных частиц, полученных в результате дезагрегирования коагулятов

Электролит			Элементный состав (числитель – % масс., знаменатель – % атомные)							
рН	$R_{эл}, \Gamma$	$R_{ГСА}, \%$			C	N	O	Na	Al	S
		R_1	R_2	R_3						
Коагулюмы, полученные в первой области коагуляции ГМК и образовавшие коагуляты										
1,95	$5,4 \cdot 10^{-4}$	100	–	–	$\frac{23,83}{34,46}$	$\frac{2,14}{2,65}$	$\frac{36,22}{39,32}$	$\frac{4,78}{2,34}$	$\frac{32,59}{20,98}$	$\frac{0,45}{0,24}$
3,50	$5,4 \cdot 10^{-4}$	90	10	–	$\frac{14,10}{21,98}$	$\frac{11,80}{15,78}$	$\frac{23,73}{27,77}$	$\frac{0,42}{0,34}$	$\frac{45,09}{31,30}$	$\frac{4,76}{2,78}$
4,30	$5,4 \cdot 10^{-4}$	85	10	5	$\frac{11,32}{19,28}$	$\frac{0,02}{0,04}$	$\frac{28,47}{36,39}$	$\frac{0,54}{0,48}$	$\frac{48,12}{36,47}$	$\frac{11,52}{7,35}$
Пептизированные частицы, полученные дезагрегированием коагулятов, образовавшихся в первой области коагуляции ГМК										
1,95	$8,0 \cdot 10^{-4}$	100	–	–	$\frac{14,30}{22,52}$	$\frac{11,26}{15,20}$	$\frac{28,05}{33,15}$	$\frac{4,82}{3,96}$	$\frac{6,00}{4,21}$	$\frac{35,57}{20,97}$
Коагулюмы, полученные во второй области коагуляции ГМК и образовавшие коагуляты										
1,95	$9,2 \cdot 10^{-4}$	100	–	–	$\frac{13,83}{18,56}$	$\frac{5,14}{7,65}$	$\frac{36,22}{39,32}$	$\frac{9,78}{4,34}$	$\frac{25,50}{20,98}$	$\frac{9,53}{9,15}$
3,50	$12,4 \cdot 10^{-4}$	90	10	–	$\frac{11,44}{17,76}$	$\frac{4,75}{6,32}$	$\frac{43,73}{50,99}$	$\frac{8,34}{3,88}$	$\frac{23,57}{16,29}$	$\frac{8,18}{4,76}$
4,30	$14,5 \cdot 10^{-4}$	85	10	5	$\frac{7,71}{11,87}$	$\frac{2,57}{3,39}$	$\frac{58,46}{67,59}$	$\frac{0,71}{0,57}$	$\frac{15,97}{9,22}$	$\frac{2,70}{1,85}$

**Таблица 3 – Структура коагулюмов, образовавшихся
в первой области коагуляции ГМК**

Состав ядра	Адсорбционный слой	Диффузный слой
Дисперсная система «Высокосмоляная ГМК (ТМВС-2Н) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOR}^I \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$s \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOR}^I \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot t (\text{HONH}_3\text{-R}^I\text{-COO}^-) \cdot (2s_{1,3} + t) \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$	–
Дисперсная система «Высокосмоляная ГМК (Sacocell-309) – ГСА»		
$\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b^I (\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases}) \cdot c^I (\text{HONH}_3\text{-R}^{IV}\text{-COO}^-) \cdot 2 q_{1,1} \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$	–
$\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b^{II} (\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases}) \cdot c^{II} (\text{HONH}_3\text{-R}^{IV}\text{-COO}^-) \cdot f_{1,2} \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})_2^{2+}$	–
Дисперсная система «Нейтральная ГМК (ТМ) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b^I (\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases}) \cdot 2 b_{1,1} \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$	–
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b^{II} (\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases}) \cdot b_{1,2} \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})_2^{2+}$	–
Дисперсная система «Нейтральная ГМК (ЖМ) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n^I (\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases}) \cdot 3 n_{1,1} \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$	–
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n^{II} (\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases}) \cdot (3/2) n_{1,2} \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})_2^{2+}$	–
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n^{III} (\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases}) \cdot n_{1,3} \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$	–

Структура полученных коагулюмов, как видно из табл. 5, существенно отличается не только от структуры пептизированных частиц, но и от коагулюмов, образовавшихся в первой области коагуляции ГМК.

Получено, что в результате коллоидно-химического взаимодействия частиц дисперсной фазы исследуемых ГМК с ГСА образуются коагулюмы, элементный состав которых изменяется при повышении рН раствора электролита от 1,95 до 4,30 следующим образом:

Таблица 4 – Структура пептизированных частиц

Состав ядра	Адсорбционный слой	Диффузный слой
Дисперсная система «Высокосмоляная ГМК (ТМВС-2Н) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOR}^I \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$s \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOR}^I \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot t \left(\text{HONH}_3\text{-R}^I\text{-COO}^- \right) \cdot \\ \cdot \left((2/3) s + (1/3) t + y_1 \right) \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} \cdot (3 y_1 - z) \text{SO}_4^{2-}$	$z \text{SO}_4^{2-}$
Дисперсная система «Высокосмоляная ГМК (Sacocell-309) – ГСА»		
$\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b \left(\text{R}^{II}\text{OC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot c \left(\text{HONH}_3\text{-R}^{IV}\text{-COO}^- \right) \cdot \\ \cdot \left((2/3) b + (1/3) c + x_1 \right) \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} \cdot (3 x_1 - d) \text{SO}_4^{2-}$	$d \text{SO}_4^{2-}$
Дисперсная система «Нейтральная ГМК (ТМ) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{III} \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot \left((2/3) b + d \right) \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} \cdot \\ \cdot (3 d - f) \text{SO}_4^{2-}$	$f \text{SO}_4^{2-}$
Дисперсная система «Нейтральная ГМК (ЖМ) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot (n + g) \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} \cdot \\ \cdot (3 g - p) \text{SO}_4^{2-}$	$p \text{SO}_4^{2-}$

- содержание кислорода О увеличивается от 36,22% масс. (39,32% атомных) до 58,46% масс. (67,59% атомных);
- содержание натрия Na уменьшается от 9,78% масс. (4,34% атомных) до 0,71% масс. (0,57% атомных);
- содержание алюминия Al уменьшается от 25,50% масс. (20,98% атомных) до 15,97% масс. (9,22% атомных);
- содержание серы S уменьшается от 9,53% масс. (9,15% атомных) до 2,70% масс. (1,85% атомных);
- содержание углерода С уменьшается от 13,83% масс. (18,56% атомных) до 7,71% масс. (11,87% атомных);
- содержание азота N уменьшается от 5,14% масс. (7,65% атомных) до 2,57% масс. (3,39% атомных).

Установлено, что коагуляты, образовавшиеся во второй области коагуляции высокосмоляной ГМК (ТМВС-2Н (табл. 5)), сформированы из трех видов 20–27 коагулюмов и имеют размер 2500–5700 нм и более. Коагуляты являются разновеликими и крупнодисперсными. Поэтому они не пептизируются. Аналогичные данные получены для Sacocell-309, ТМ и ЖМ. Отличие состоит в степени агрегирования

коагулюмов, что оказывает влияние на размеры непептизирующихся коагулятов.

Анализ результатов исследований, проведенных по методу макроэлектрофореза, свидетельствует о том, что коагуляты являются электронейтральными, в то время как пептизированные частицы имеют положительный электрокинетический потенциал. Он зависит от коллоидно-химических свойств ГМК (в особенности от структуры частиц дисперсной фазы) и количества присутствующих в дисперсной системе гексаакваалюминиевых ионов $Al(OH)_6^{3+}$, обеспечивающих пептизацию коагулятов.

Таблица 5 – Структура коагулюмов, образовавшихся во второй области коагуляции и высокосмоляных и нейтральных ГМК

Состав ядра	Адсорбционный слой	Диффузный слой
1	2	3
Дисперсная система «Высокосмоляная ГМК (TMBC-2H) – ГСА»		
$HOOC-R \begin{cases} \diagup CH-COOR^I \\ \\ \diagdown CH-COOH \end{cases}$	$s^I (HOOC-R \begin{cases} \diagup CH-COOR^I \\ \\ \diagdown CH-COO^- \end{cases}) \cdot t^I (HONH_3-R^I-COO^-) \cdot (2s_{2,1} + t^I + y_{2,1}) Al(H_2O)_4(OH)_2^+ \cdot (1/2) y_{2,1} SO_4^{2-}$	–
$HOOC-R \begin{cases} \diagup CH-COOR^I \\ \\ \diagdown CH-COOH \end{cases}$	$s^{II} (HOOC-R \begin{cases} \diagup CH-COOR^I \\ \\ \diagdown CH-COO^- \end{cases}) \cdot t^{II} (HONH_3-R^I-COO^-) \cdot (s_{2,2} + (1/2) t^{II} + y_{2,2}) Al(H_2O)_5(OH)^{2+} \cdot y_{2,2} SO_4^{2-}$	–
$HOOC-R \begin{cases} \diagup CH-COOR^I \\ \\ \diagdown CH-COOH \end{cases}$	$s^{III} (HOOC-R \begin{cases} \diagup CH-COOR^I \\ \\ \diagdown CH-COO^- \end{cases}) \cdot t^{III} (HONH_3-R^I-COO^-) \cdot ((2/3) s_{2,3} + (1/3) t^{III} + y_{2,3}) Al(H_2O)_6^{3+} \cdot (3/2) y_{2,3} SO_4^{2-}$	–
Дисперсная система «Высокосмоляная ГМК (Sacocell-309) – ГСА»		
$R^{II}OC-R \begin{cases} \diagup CH-COOH \\ \\ \diagdown CH-COOH \end{cases}$	$b^I (R^{II}OC-R \begin{cases} \diagup CH-COO^- \\ \\ \diagdown CH-COO^- \end{cases}) \cdot c^I (HONH_3-R^{IV}-COO^-) \cdot (2q_{2,1} + c^I + x_{2,1}) Al(H_2O)_4(OH)_2^+ \cdot (1/2) x_{2,1} SO_4^{2-}$	–
$R^{II}OC-R \begin{cases} \diagup CH-COOH \\ \\ \diagdown CH-COOH \end{cases}$	$b^{II} (R^{II}OC-R \begin{cases} \diagup CH-COO^- \\ \\ \diagdown CH-COO^- \end{cases}) \cdot c^{II} (HONH_3-R^{IV}-COO^-) \cdot (q_{2,2} + (1/2) c^{II} + x_{2,2}) Al(H_2O)_5(OH)^{2+} \cdot x_{2,2} SO_4^{2-}$	–
$R^{II}OC-R \begin{cases} \diagup CH-COOH \\ \\ \diagdown CH-COOH \end{cases}$	$b^{III} (R^{II}OC-R \begin{cases} \diagup CH-COO^- \\ \\ \diagdown CH-COO^- \end{cases}) \cdot c^{III} (HONH_3-R^{IV}-COO^-) \cdot ((2/3) q_{2,3} + (1/3) c^{III} + x_{2,3}) Al(H_2O)_6^{3+} \cdot (3/2) x_{2,3} SO_4^{2-}$	–

1	2	3
Дисперсная система «Нейтральная ГМК (ТМ) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{\text{III}} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b^1 \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{\text{III}} \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot \left((1/2) b_{2,1} + d_{2,1} \right) \cdot \\ \cdot \text{Al(H}_2\text{O)}_4(\text{OH)}_2^+ \cdot (1/2) d_{2,1} \text{SO}_4^{2-}$	–
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{\text{III}} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b^{11} \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{\text{III}} \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot (b_{2,2} + d_{2,2}) \cdot \\ \cdot \text{Al(H}_2\text{O)}_5(\text{OH)}^{2+} \cdot d_{2,2} \text{SO}_4^{2-}$	–
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{\text{III}} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$b^{111} \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COR}^{\text{III}} \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot \left((2/3) b_{2,3} + d_{2,3} \right) \cdot \\ \cdot \text{Al(H}_2\text{O)}_6^{3+} \cdot (3/2) d_{2,3} \text{SO}_4^{2-}$	–
Дисперсная система «Нейтральная ГМК (ЖМ) – ГСА»		
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n^1 \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot (3 n_{2,1} + z_{2,1}) \cdot \\ \cdot \text{Al(H}_2\text{O)}_4(\text{OH)}_2^+ \cdot (1/2) z_{2,1} \text{SO}_4^{2-}$	–
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n^{11} \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot \left((3/2) n_{2,2} + z_{2,2} \right) \cdot \\ \cdot \text{Al(H}_2\text{O)}_5(\text{OH)}^{2+} \cdot z_{2,2} \text{SO}_4^{2-}$	–
$\text{HOOC-R} \begin{cases} \text{CH-COOH} \\ \\ \text{CH-COOH} \end{cases}$	$n^{111} \left(\text{OOC-R} \begin{cases} \text{CH-COO}^- \\ \\ \text{CH-COO}^- \end{cases} \right) \cdot (n_{2,3} + z_{2,3}) \cdot \\ \cdot \text{Al(H}_2\text{O)}_6^{3+} \cdot (3/2) z_{2,3} \text{SO}_4^{2-}$	–

Установлено, что пептизированные частицы имеют электрокинетический потенциал в следующих пределах:

- для высокосмоляных гидродисперсий ТМВС-2Н и Sacocell-309 от +6 до +8 мВ и от +25 до +35 мВ соответственно;
- для нейтральных гидродисперсий ТМ и ЖМ от +27 до +40 мВ и от +30 до +38 мВ соответственно.

Кроме того, пептизированные частицы являются мелкодисперсными, так как их размер (d_n) максимально приближается к размеру частиц дисперсной фазы (d_0) в исходной ГМК, то есть выполняется условие $d_n = d_0$.

Таким образом, изучены особенности коллоидно-химического взаимодействия в дисперсных системах «высокосмоляная ГМК – гидроксосоединения алюминия» и «нейтральная ГМК – гидрок-сосоединения алюминия». Установлено, что в первой области коагуляции высокосмоляных и нейтральных ГМК образуются коагуломы, после агрегирования которых формируются коагуляты, способные пептизироваться. Однако коагуляты, образовавшиеся во вто-

рой области коагуляции исследуемых ГМК, не пептизируются. Исследовано влияние гидроксо соединений алюминия $Al(OH)_6^{3+}$, $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$ и $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$ на структуру коагулюмов, образующих коагуляты в первой и второй областях коагуляции ГМК, и пептизированных частиц, полученных в результате дезагрегирования коагулятов, образовавшихся в первой области коагуляции ГМК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н.В. Теория и технология проклейки бумаги и картона (Монография) / Н.В. Черная. – Мн.: БГТУ, 2009.
2. Назаренко, В.А. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах / В.А. Назаренко, В.П. Антонович, Е.М. Невская. – М.: Атомиздат, 1979.
3. Черная, Н.В. Влияние форм гидроксо соединений алюминия на закономерности процесса электролитной коагуляции канифольной эмульсии ТМВС-2Н / Н.В. Черная, Г.Г. Эмелло, А.И. Ламоткин // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология орган. в-в. – 2003. – Вып. XI. – С. 55–59.
4. Черная, Н.В. Влияние основных солей алюминия на кинетику быстрой коагуляции гидродисперсии модифицированной канифоли / Н.В. Черная, Г.Г. Эмелло, А.И. Ламоткин // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук, 2005. № 4. – С. 106–112.
5. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г. Фролова, А.С. Гродского. – М., 1986.

УДК 676.274

А.Ю. Гаркотин, Ю.В. Севастьянова
garkotin.a.yu@gmail.com (САФУ, г. Архангельск, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХВОЙНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ВЫСОКОГО ВЫХОДА С ВЫСОКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ЧИСЛА КАППА

Ключевые слова: бумага, картон, растительное сырьё, методы делигнификации, лигнин, целлюлоза, экстрактивные вещества, зола, бумагообразующие свойства.

Введение

Целлюлозой высокого выхода (ЦВВ) называется волокнистый полуфабрикат с выходом от 52 до 65 %, который по сравнению с целлюлозой содержит повышенное количество лигнина и гемицеллюлоз и получается в результате неглубокой варки щепы с различными химикатами и последующим механическим разделением не полностью проваренной щепы на волокна и является основным полуфабрикатом