

Н. В. Черная, доцент

ПЕПТИЗАЦИЯ ОСАДКОВ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ КОАГУЛЯЦИИ ГИДРОДИСПЕРСИЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КАНИФОЛИ

The peptization of the residues depends on the conditions of the electrolytic coagulation process of the modified resin emulsions. The great role plays the contents of aluminium hydroxobonds forms in microheterogenous system.

Одной из основных проблем при электролитной коагуляции гидродисперсий модифицированной канифоли (ГМК), относящихся к «белым» золям, является обеспечение пептизации осадков (коагулятов). Последние образуются за счет укрупнения (агрегации) образовавшихся алюмосоляных комплексов (коагулюмов). Осадки являются разновеликими, разнотенциальными и, как правило, грубодисперсными. При пептизации осадков образуются мелкодисперсные и равнопотенциальные частицы, размеры которых приближаются к частицам «белых» зелей. Поэтому пептизированные частицы, имеющие положительный заряд, способны равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности отрицательно заряженных растительных волокон; это позволяет сместить процесс канифольной проклейки волокнистой суспензии от традиционного режима гомокоагуляции к более эффективному режиму гетероадагуляции, улучшая качество клееных видов бумаги и картона. Следовательно, проблема обеспечения протекания процесса пептизации осадков, образовавшихся в результате электролитной коагуляции ГМК, является актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

Известно [1, 2], что частицы «белых» зелей, полученные из осадков в результате их пептизации, обладают пониженной поверхностной энергией, компенсирующейся энтропийным отталкиванием, положительным расклинивающим давлением и удельной энергией взаимодействия частиц $-U(h_0)$ менее 10 мДж/м².

К перспективным способам обеспечения пептизации осадков, образовавшихся при электролитной коагуляции ГМК, относится управление дисперсностью, электрокинетическим потенциалом и удельной энергией взаимодействия коагулюмов путем целенаправленного изменения в дисперсной системе содержания как электролита, так и ионов-коагуляторов и их зарядов.

Традиционным электролитом является сульфат алюминия. Поскольку соли трехвалентного алюминия являются комплексными соединениями и они легко гидролизуются [3], то в зависимости от pH раствора электролита в нем могут присутствовать такие формы гидросоединений алюминия, как $Al(H_2O)_6^{3+}$,

$Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$, $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$, $Al(H_2O)_3(OH)_3^0$ и $Al(H_2O)_2(OH)_4^-$.

Нами установлено [4], что введением в ГМК марки ТМВС-2Н расчетных количеств ионов-коагуляторов можно управлять дисперсностью и электрокинетическим потенциалом коагулятов. Однако, согласно теории М. Смолуховского [5], такие коагуляты представляют собой укрупненные агломераты, образовавшиеся в результате случайных столкновений алюмосоляных комплексов при сближении их центров на некоторое критическое расстояние. Вероятность столкновения частиц зависит от первоначальной концентрации ГМК и коэффициента диффузии, определяющего скорость броуновского движения. Получено [6], что в области быстрой коагуляции при увеличении продолжительности этого процесса при столкновении частиц первого порядка N_1 образуются частицы второго порядка N_2 , которые в комбинации с частицами первого порядка приводят к появлению частиц третьего порядка N_3 , а дальнейшее столкновение частиц N_1 , N_2 и N_3 приводит к образованию частиц четвертого N_4 , пятого N_5 и более высоких порядков.

Показано [6], что электролит может проявлять коагулирующее, пептизирующее и стабилизирующее действие. Однако неизученной осталась проблема обеспечения пептизации осадков, образовавшихся в результате электролитной коагуляции ГМК.

Цель исследований – обеспечение пептизации осадков на основе изучения особенностей электролитной коагуляции ГМК в зависимости от зарядов ионов-коагуляторов и содержания их в дисперсной системе.

В качестве объекта исследования выбрана 0,02%-ная гидродисперсия ТМВС-2Н (ТУ РБ 00280198-029-97) [7]. Установлено [8], что частицы дисперсной фазы имеют диаметр $d_{cp} = 180$ нм и ξ -потенциал $-15,4$ мВ.

Для достижения поставленной цели к ГМК добавляли расчетные количества 5%-ного раствора сульфата алюминия (ГОСТ 12966-85) с различным содержанием в нем ионов-коагуляторов (форм гидросоединений алюминия). Для этого целенаправленно изменяли pH раствора электролита от 1,95 до 9,10, а его содержание (R, мас. ч. / мас. ч.) в дисперсной системе увеличивали от 0,01 до 99,48.

Ранее было установлено [4, 6, 8], что при добавлении к гидродисперсии ТМВС-2Н различных форм гидроксосоединений алюминия характер протекающего процесса электролитной коагуляции зависит от вида и содержания в дисперсной системе ионов-коагуляторов. Показано, что при уменьшении заряда иона-коагулятора снижается мутность дисперсной системы (τ , см^{-1}), возрастает время «половиной коагуляции» (t_0) от 30,6 до 41,1 мин, увеличивается содержание частиц первого порядка N_1 и значительно уменьшается содержание частиц более высоких порядков (N_2, N_3, \dots, N_{11}). Эти положительные факты свидетельствуют о разработанном способе регулирования степени дисперсности образовавшихся осадков путем изменения содержания в дисперсной системе электролита и заряда коагулирующих ионов. Также было установлено, что в процессе электролитной коагуляции ГМК происходит перезарядка частиц и, следовательно, при добавлении электролита могут протекать процессы коагуляции, пептизации и стабилизации.

Изучение процесса пептизации осадков, образовавшихся в результате электролитной коагуляции ГМК, проводили в два этапа.

На первом этапе изучали особенности электролитной коагуляции ГМК с целью обеспечения пептизации образовавшихся осадков. Для этого в дисперсной системе увеличивали содержание (R) ионов-коагуляторов и их зарядов, после чего определяли мутность (τ , см^{-1}) дисперсной системы, скорость коагуляции ($W \cdot 10^{-2}$, $\text{см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$), средний диаметр (d_{cp} , нм) и ξ -потенциал образовавшихся осадков в зависимости от R и pH раствора электролита при увеличении продолжительности (t) процесса коагуляции от 0,5 до 50,0 мин (табл. 1 и 2). Исходная 0,02%-ная ГМК имела $\tau = 0,276 \text{ см}^{-1}$.

На втором этапе изучали влияние pH раствора электролита и содержания в нем ионов-коагуляторов на соотношение частиц в агрегированном (n_a) и пептизированном (n_n) состояниях, после чего определяли удельную энергию взаимодействия пептизированных частиц $-U(h_0)$.

Значения τ определяли турбидиметрическим методом [9] на фотоэлектроколориметре КФК-2 при длине волны 440 нм и ширине кюветы $L = 5,06 \cdot 10^{-3}$ м; расчет проводили по формуле $\tau = 2,3 \cdot D / L$, где D – оптическая плотность дисперсной системы. Скорость коагуляции определяли по методике [2] и рассчитывали по формуле $W = \Delta \tau / \Delta t$.

Диаметр коагулятов (d_{cp} , нм) определяли микроскопическим и турбидиметрическим методами [9], а также рассчитывали по формуле $d_{\text{cp}} = 228,0 + 33,2 \cdot \lg D$ [5].

Величину ξ -потенциала определяли методом макроэлектрофореза [9].

Значения $-U(h_0)$, мДж/м^2 , рассчитывали по известной в литературе [2] формуле

$$-U(h_0) \leq U_c \approx (\beta^* \cdot k \cdot T) / (Z \cdot \pi \cdot d_{\text{cp}} \cdot h_0),$$

где U_c – глубина первичного минимума, мДж/м^2 ; $\beta^* = \ln(n_a / n_n)$; k – удельная электропроводность воды ($k = 6,2 \cdot 10^{-8}$), $\text{Ом} \cdot \text{см}$; T – абсолютная температура ($T = 300$), К; Z – количество «соседей», взаимодействующих с коагулятом, шт.; d_{cp} – средний диаметр частицы, нм; h_0 – расстояние между частицами (межмолекулярное расстояние).

Таблица 1
Влияние R и t на τ , W и d_{cp} при pH раствора электролита 1,95 и 2,70

pH	R	t	τ	$W \cdot 10^{-2}$	d_{cp}
1,95	0,01	0,5	0,276	–	180
		5,0	0,276	–	180
		50,0	0,276	–	180
	0,04	0,5	0,276	–	180
		5,0	0,276	–	180
		50,0	0,276	–	180
	0,08	0,5	0,540	0,92	450
		5,0	0,720	0,23	590
		50,0	1,200	0,15	830
	0,22	0,5	0,420	0,44	250
		5,0	0,500	0,18	300
		50,0	0,610	–	310
	0,55	0,5	0,420	0,44	250
		5,0	0,500	0,18	300
		50,0	0,610	–	310
	2,22	0,5	0,815	1,72	500
		5,0	1,500	0,70	635
		50,0	>1,50	0,34	>1200
>2,2	0,5	0,815	1,72	500	
	5,0	1,500	0,70	635	
	50,0	>1,50	0,34	>1200	
2,70	0,01	0,5	0,276	–	180
		5,0	0,276	–	180
		50,0	0,276	–	180
	0,05	0,5	0,276	–	180
		5,0	0,276	–	180
		50,0	0,276	–	180
	0,13	0,5	0,500	0,80	360
		5,0	0,610	0,18	430
		50,0	0,800	0,05	540
	0,36	0,5	0,360	–	216
		5,0	0,360	–	216
		50,0	0,360	–	216
	0,67	0,5	0,360	–	216
		5,0	0,360	–	216
		50,0	0,360	–	216
	2,71	0,5	0,700	1,40	480
		5,0	1,350	0,60	520
		50,0	1,500	0,20	900
>3,71	0,5	0,700	1,40	480	
	5,0	1,350	0,60	520	
	50,0	1,500	0,20	900	

Таблица 2
Влияние R и t на τ , W и d_{cp} при рН
раствора электролита 4,30 и 5,30

рН	R	t	τ	$W \cdot 10^{-2}$	d_{cp}
4,30	0,01	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
	0,16	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
	0,44	0,5	0,375	0,33	320
		5,0	0,490	0,14	345
		50,0	0,520	0,08	360
	0,67	0,5	0,300	0,08	190
		5,0	0,310	0,01	192
		50,0	0,320	—	195
	1,20	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
	2,22	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
3,32	0,5	0,380	0,34	224	
	5,0	0,500	0,07	250	
	50,0	0,630	0,01	385	
>4,95	0,5	0,400	0,34	400	
	5,0	0,600	0,07	450	
	50,0	0,730	0,01	520	
5,30	0,01	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
	0,18	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
	0,53	0,5	0,320	0,15	210
		5,0	0,430	0,05	238
		50,0	0,480	—	300
	0,74	0,5	0,286	0,03	185
		5,0	0,290	—	186
		50,0	0,325	—	188
	1,49	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
	4,95	0,5	0,276	—	180
		5,0	0,276	—	180
		50,0	0,276	—	180
>5,12	0,5	0,360	0,28	280	
	5,0	0,480	0,07	300	
	50,0	0,600	0,01	385	

Определив энергию взаимодействия частиц

$$u_k = (A^* \cdot d_{cp}) / (24 \cdot h_0),$$

рассчитывали величину n_n по известной в литературе [2] формуле

$$n_n = n_a \cdot e^{\frac{Z \cdot u_k}{2 \cdot k \cdot T}},$$

где A^* — эффективная константа Гамакера ($A^* = 10^{-21}$), Дж.

Применение раствора электролита с рН 1,95, содержащего 100% $Al(H_2O)_6^{3+}$, как видно из табл. 1, приводит к тому, что коагуляционный процесс начинается при $R > 0,04$, так как при $0,01 < R < 0,04$ τ не изменяется и составляет $0,276 \text{ см}^{-1}$. Частицы дисперсной фазы имеют ξ -потенциал в диапазоне от $-15,0$ до $-12,5$ мВ и диаметр 180 нм.

Установлено, что в первой зоне быстрой коагуляции, когда $0,04 < R < 0,08$, τ увеличивается от $0,276$ до $0,540 \text{ см}^{-1}$ при $t = 0,5$ мин, до $0,720 \text{ см}^{-1}$ при $t = 0,5$ мин и до $1,200 \text{ см}^{-1}$ при $t = 50,0$ мин. Повышение τ можно объяснить агрегированием алюмосмоляных комплексов с образованием осадков, имеющих $d_{cp} = 450$ нм при $t = 0,5$ мин. При $t > 5,0$ мин происходит заметное укрупнение агломератов за счет агрегации алюмосмоляных комплексов. Образовавшиеся осадки имеют d_{cp} в пределах $450-830$ нм и ξ -потенциал в диапазоне от $-5,0$ до $+5,0$ мВ, что позволяет считать их разновеликими, грубодисперсными и разнопотенциальными. При этом W возрастает до $0,92 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при $t = 0,5$ мин и уменьшается до $0,15 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при $t = 50,0$ мин.

Установлено, что дальнейшее увеличение содержания в дисперсной системе электролита (рН 1,95) при $0,22 \leq R \leq 0,55$ приводит к частичной пептизации (деагрегированию) осадков, о чем свидетельствует уменьшение τ от $0,540$ до $0,420 \text{ см}^{-1}$ при $t = 0,5$ мин и от $1,200$ до $0,610 \text{ см}^{-1}$ при $t = 50,0$ мин за счет снижения d_{cp} от $450-830$ до $250-310$ нм. Эти факты свидетельствуют о начале протекания процесса пептизации. При этом W уменьшается от $0,44 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при $t = 0,5$ мин до нуля при $t = 50,0$ мин. Пептизированные частицы имеют ξ -потенциал от $+5,0$ до $+22,4$ мВ.

Получено, что процесс пептизации протекает при содержании в дисперсной системе электролита в количестве $0,22 \leq R \leq 0,55$. Однако пептизированные частицы обладают невысокой агрегативной устойчивостью, так как при увеличении t от $0,5$ до $50,0$ мин происходит повышение d_{cp} от 250 до 310 нм, о чем свидетельствует незначительное изменение τ от $0,420$ до $0,610 \text{ см}^{-1}$. Это позволяет сделать вывод о том, что применение электролита с рН 1,95 не обеспечивает требуемой степени пептизации осадков.

Установлено, что дальнейшее увеличение содержания в дисперсной системе электролита (рН 1,95), когда $0,55 < R < 2,22$, приводит к тому, что коагуляционный процесс протекает во второй зоне быстрой коагуляции. Об этом свидетельствует повышение τ от $0,815$ до 1500 см^{-1} и более при увеличении t от $0,5$ до $50,0$ мин. При этом W возрастает до $1,72 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при $t = 0,5$ мин и уменьшается до $0,34 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

при $t = 50,0$ мин. Образовавшиеся осадки имеют ξ -потенциал в диапазоне от $+1,5$ до $+5,0$ мВ и $d_{cp} = 500$ нм при $t = 0,5$ мин и $d_{cp} = 1200$ нм при $t = 50,0$ мин.

Применение раствора электролита с рН 2,70, содержащего 25% $Al(H_2O)_6^{3+}$ и 75% $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$, сопровождается повышением дисперсности осадков, образовавшихся при коагуляции ГМК, и увеличением степени их пептизации. Получено, что процесс коагуляции начинается при $R > 0,05$, о чем свидетельствует увеличение мутности дисперсной системы от $0,276$ до $0,500-0,800$ $см^{-1}$ в первой зоне быстрой коагуляции, когда $0,05 < R \leq 0,13$, и до $0,700-1,500$ $см^{-1}$ во второй зоне быстрой коагуляции, когда $R > 0,67$. Образовавшиеся осадки имеют ξ -потенциал ± 5 мВ и диаметр $360-540$ и $480-900$ нм в первой и во второй зонах коагуляции соответственно. Полученные осадки являются разновеликими, разнопотенциальными и грубодисперсными.

Пептизированные частицы, полученные из осадков при коагуляции ГМК электролитом с рН 2,70 при $0,36 \leq R \leq 0,67$, по дисперсности приближаются к исходным частицам, так как их диаметр составляет 216 нм. Они являются мелкодисперсными, однородными и агрегативно устойчивыми и имеют ξ -потенциал $+17,5$ мВ.

Применение раствора электролита с рН 3,50-3,75 способствует повышению степени пептизации осадков. Это можно объяснить повышенным содержанием (85-88%) в растворе электролита таких ионов-коагуляторов, как $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$, и незначительным содержанием (12-15%) $Al(H_2O)_6^{3+}$. Образовавшиеся осадки, имеющие $d_{cp} = 300-320$ нм, склонны к пептизации с образованием мелкодисперсных частиц, имеющих $d_{cp} = 180$ нм и ξ -потенциал $+(12,5-15,0)$ мВ. Установлено, что для обеспечения процесса пептизации осадков необходимо присутствие в дисперсной системе оптимального содержания ионов-коагуляторов, что достигается при $0,42 < R < 2,22$ (для электролита с рН 3,50) и $0,53 < R < 2,64$ (для электролита с рН 3,75).

Применение раствора электролита с рН 4,30-5,30, как видно из табл. 2, способствует повышению степени пептизации осадков и их агрегативной устойчивости. Это можно объяснить тем, что при повышении рН раствора электролита от 4,30 до 5,30 происходит снижение содержания $Al(H_2O)_6^{3+}$ от 8 до 5% и $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$ от 77 до 40% за счет увеличения содержания ионов-коагуляторов $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$ от 15 до 55%.

Получено, что грубодисперсные осадки образуются не только в первой зоне быстрой коагуляции, когда $0,44 < R < 0,67$ (рН 4,30) и $0,53 < R < 0,74$ (рН 5,30), но и во второй зоне быстрой коагуляции при $R \geq 4,95$ (рН 4,30) и $R \geq 5,12$ (рН 5,30). Об этом свидетельствует повышение τ в первой зоне (а) быстрой коагуляции

до $0,375-0,520$ (рН 4,30) и $0,320-0,480$ $см^{-1}$ (рН 5,30) и во второй зоне (б) быстрой коагуляции до $0,400-0,730$ (рН 4,30) и $0,360-0,600$ $см^{-1}$ (рН 5,30).

Получено, что диаметр образовавшихся осадков d_{cp} увеличивается от $320-360$ (а) до $400-520$ нм (б) при применении электролита с рН 4,30 и от $210-300$ (а) до $280-385$ нм (б) при применении электролита с рН 5,30. Поэтому осадки, полученные в первой и во второй зонах быстрой коагуляции, являются разновеликими и крупнодисперсными. Их ξ -потенциал изменяется от -5 до $+5$ мВ.

Установлено, что процесс пептизации осадков начинает протекать при $R = 0,67$ (рН 4,30) и $R = 0,74$ (рН 5,30) и завершается при $R = 1,20$ (рН 4,30) и $R = 1,49$ (рН 5,30). Образовавшиеся пептизированные частицы являются агрегативно устойчивыми как при увеличении t от 0,5 до 50,0 мин, так и при повышении содержания электролита в дисперсной системе от 1,22 до 2,22 (рН 4,30) и от 1,49 до 4,95 (рН 5,30). Пептизированные частицы, полученные из осадков при применении для коагуляции гидродисперсии электролита, имеющего рН 4,30-5,30, являются мелкодисперсными и равнопотенциальными. Их диаметр не превышает 180 нм. Для пептизированных частиц ξ -потенциал составляет $+10,0$ (рН 4,30) и $+8,0$ мВ (рН 5,30).

Применение раствора электролита с рН 6,80, содержащего 10% $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$ и 72% $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$, замедляет коагуляционный процесс за счет того, что присутствующие 18% $Al(H_2O)_3(OH)_3^0$ проявляют стабилизирующее действие. Поэтому τ возрастает от 0,280 до 0,423 $см^{-1}$. Процесс пептизации осадков протекает при $4,06 < R < 8,17$ с образованием частиц, имеющих $d_{cp} = 182,7$ нм и ξ -потенциал $+2,7$ мВ.

Применение раствора электролита с рН 9,10, содержащего 5% $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$, 83% $Al(H_2O)_3(OH)_3^0$ и 12% $Al(H_2O)_2(OH)_4$, не обеспечивает пептизацию осадков даже при увеличении R от 36,60 до 99,48.

Таблица 3
Влияние рН раствора электролита на $-U(h_0)$

рН	$h_0 \cdot 10^{-10}$, м	$n_a \cdot 10^{-2}$, %	$n_b \cdot 10^{-2}$, %	$-U(h_0)$, мДж/м ²
1,95	2,00	0,22	1,78	10,33
2,70	2,80	0,17	1,83	12,90
3,50	2,95	0,15	1,85	13,98
3,75	3,21	0,12	1,88	14,56
4,30	3,32	0,10	1,90	16,37
5,30	3,44	0,06	1,94	17,92
6,80	4,05	0,88	1,12	20,98

Из табл. 3 видно, что частицы, полученные в результате пептизации осадков, образовавшихся при электролитной коагуляции гидро-

дисперсии ТМВС-2Н, имеют $-U(h_0)$ в пределах 10,33–20,98 мДж/м². Аналогичные значения $-U(h_0) < 10$ мДж/м² получены Е. Д. Шукиным и Е. А. Амелиной [2, с. 292, 293] при обеспечении пептизации «белых» зелей, в частности для алкилсульфонатов натрия, метилированно-го азросила и пропилового спирта.

Результаты исследований позволяют сделать выводы о том, что, во-первых, разработан способ обеспечения пептизации осадков, образовавшихся при электролитной коагуляции гидродисперсии ТМВС-2Н, и, во-вторых, в качестве оценочного критерия, характеризующего процесс пептизации осадков, можно использовать удельную энергию взаимодействия частиц $-U(h_0)$, численное значение которой не должно превышать 10 мДж/м².

Таким образом, электролит (сульфат алюминия) может оказывать коагулирующее, стабилизирующее и пептизирующее действие на гидродисперсию модифицированной канифоли ТМВС-2Н. Изучены закономерности процесса пептизации в зависимости от содержания ионов-коагуляторов в электролите и от их зарядов. Установлено, что пептизированные частицы являются мелкодисперсными (диаметр 180 нм) и имеют ξ -потенциал от +4,7 до +22,5 мВ и удельную энергию взаимодействия $-U(h_0)$ от 10,33 до 20,98 мДж/м².

Литература

1. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии: Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1982. – 400 с.

2. Шукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А. Коллоидная химия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. – 348 с.

3. О взаимодействии сульфата алюминия с целлюлозным волокном / В. Е. Гурьянов, Т. А. Плюснина, Г. Д. Тихомирова, Н. Л. Барамбойм // Исследования в области производства бумаги. – М., 1975. – № 10. – С. 187–193.

4. Черная Н. В., Эмелло Г. Г., Ламоткин А. И. Влияние форм гидроксосоединений алюминия на закономерности процесса электролитной коагуляции канифольной эмульсии ТМВС-2Н // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология орган. в-в. – 2003. – Вып. XI. – С. 55–59.

5. Цюрупа Н. Н. Практикум по коллоидной химии. – М.: Высш. школа, 1963. – 163 с.

6. Черная Н. В., Эмелло Г. Г., Ламоткин А. И. Кинетика быстрой коагуляции канифольной эмульсии ТМВС-2Н в зависимости от форм гидроксосоединений алюминия // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология орг. в-в. – Мн., 2004. – Вып. XII. – С. 115–121.

7. Пат. 2820 (РБ). Способ получения клеевой композиции для проклейки бумаги и картона / А. И. Ламоткин, А. А. Комаров, Н. В. Черная и др. – Заявка № 940468 от 22.08.1997. Заявл. 22.08.1997; Оpubл. 31.12.1998.

8. Электролитная коагуляция клеевых канифольных эмульсий / Н. В. Черная, Г. Г. Эмелло, А. И. Ламоткин, Н. В. Жолнерович // Вести НАН Беларуси. Сер. хим. наук, 2001. – № 4. – С. 101–103.

9. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю. Г. Фролова, А. С. Гродского. – М., 1986. – С. 93–95, 113–115.