

УДК 676.024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗДЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ПОЛИИОНОГЕННЫМИ ПОЛИМЕРАМИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУМАГИ

© *С.Ю. Кожевников*

*Общество с ограниченной ответственностью «СКИФ Спешиал Кемикалз»,
Восточная промзона, 7, Дзержинск, Нижегородская обл., 606000 (Россия),
e-mail: skif@skif.us*

Приводятся результаты исследования влияния индивидуальных химических полиионогенных полимеров основной группы химических вспомогательных веществ (ХВВ) на свойства макулатурной массы и физико-механические показатели бумаги при их подаче в различные части массы. Для исследований была взята нефракционированная (н/ф) и фракционированная макулатурная масса МС-5Б – две фракции: длинноволокнистая (ДВФ) и коротковолокнистая (КВФ).

Химические полиионогенные (поликатионные и полианионные) ХВВ для исследования были следующие: фиксатор «Ультрафикс Р-127», флокулянт «Полиамин ССК», связующие: катионный крахмал «Динадин СС 537», «Ультрарез DS 125 Q», клей АКД «Ультрасайз 200» – производства ООО «СКИФ Спешиал Кемикалз», полианионное связующее Na-КМЦ и катионный полиакриламид (Кат ПАА) – других производителей.

Проведено четыре серии экспериментов по обработке массы. В опытах общая масса разделялась пополам, и каждая часть обрабатывалась иным комплексом ХВВ. Получены следующие результаты: добавка химических реагентов к ДВФ приводит к большей прочности бумаги; прирост по отдельным показателям относительно к ДВФ (без химии): разрывная длина, жесткость при растяжении, сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию (полоска 12,7 и 15,0 мм) и поверхностная впитываемость воды – соответственно 34, 24, 47, 57 и 55%; добавка химических реагентов к КВФ повышает прочность образцов бумаги практически до прочности бумаги из ДВФ; прирост по отдельным показателям относительно к ДВФ: разрывная длина, жесткость при растяжении, сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию (полоска 12,7 и 15,0 мм) и поверхностная впитываемость воды – соответственно 25, 41, 47, 45 и 48%; добавка химии к КВФ приближает ее прочностные свойства к свойствам ДВФ; сравнивая экспериментальные результаты физико-механических показателей бумаги массой 125 г/м² с нормами ГОСТ Р 53206-2008 на бумагу для гофрирования, можно констатировать, что метод раздельной обработки массы полиионогенными полимерами, особенно в сочетании ДВФ и КВФ, позволяет получить бумагу марки Б-2 по всем показателям, бумагу Б-1 – по показателю «сопротивление плоскостному сжатию» и бумагу Б-0 – по показателю «сопротивление продавливанию».

Ключевые слова: полиионогенные полимеры, макулатурная масса, бумага, механические свойства.

Введение

В сырьевом балансе производства тарного картона – его конструкционных материалов флютинга и лайнера – в России больше половины принадлежит макулатуре. Основной маркой макулатуры является МС-5Б по ГОСТ 10700-97 [1]. Так как макулатура является вторичным сырьем, ее механические показатели значительно уступают первичному волокну и, кроме того, год от года снижаются. Поэтому макулатурный флютинг и лайнер (тест-лайнр) не отличаются высокой механической прочностью. Высокие марки этих материалов по ГОСТ Р 53206-2008 и ГОСТ Р 53207-2008 [2, 3] практически невозможно сделать без применения современного комплекса химических вспомогательных веществ (ХВВ). Применение прогрессивных технологий переработки макулатуры (фракционирование массы, двух- и многослойное формование в сочетании с ХВВ) значительно повысило физико-механические показатели макулатурных материалов, однако повышение механической прочности данного сырья остается актуальным.

Кожевников Сергей Юрьевич – руководитель научно-технических программ развития отдела инновационного развития, кандидат технических наук, e-mail: skif@skif.us

В рассматриваемом исследовании ставилась цель изучить влияние индивидуальных химических функциональных веществ основной группы

ХВВ на свойства макулатурной массы и физико-механические показатели бумаги при их подаче в различные части массы.

Как правило, весь комплекс конкретно добавляемых в массу ХВВ дозируется последовательно химикат за химикатом на определенных стадиях подготовки и подачи массы на бумаго- или картоноделательную машину (БДМ или КДМ). Такой вариант дозировки химикатов дает достаточно высокий эффект упрочнения, но имеет определенный предел 12–15% [4, 5]. В литературе имеются сведения [6] о модификации волокна многослойной адсорбцией то катионного, то анионного полиэлектролита с получением слоя полиэлектролитного комплекса на волокне толщиной 80 нм. Таким образом, изучалось влияние полиэлектролитных комплексов на прочность волокна. В соавторстве с другими исследователями мы показали перспективность использования дозровок индивидуально поликатионных и полианионных полимеров в различные части макулатурной массы [7]. Результаты продолжения исследования рассматриваются в данной статье.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Для исследований была взята нефракционированная (н/ф) и фракционированная макулатурная масса макулатуры МС-5Б – две фракции: длинноволокнистая (ДВФ) и коротковолокнистая (КВФ) производства ООО «Сухонский ЦБК». Масса отобрана из производственного потока. По принятой технологии подготовки макулатурной массы ее фракционируют на ДВФ и КВФ в примерном соотношении 60% ДВФ и 40% КВФ. Характеристика видов массы из технологического потока представлена в таблице 1, а ее физические и физико-механические свойства – в таблице 2.

Как видно в таблице 2, закономерности физико-механических свойств различных видов массы сохраняют классический вид; наибольшее значение всех показателей характерно ДВФ со степенью помола 34 °ШР, а наименьшее – для КВФ, что объясняется низкой механической прочностью короткого волокна; в целом физико-механические показатели отличаются низкими величинами. Основной вывод можно сделать такой: фракционирование макулатурной массы позволяет получить разные по свойствам фракции массы, которые можно и следует раздельно рационально обрабатывать различными полимерными ХВВ для составления композиций массы по волокну с лучшими свойствами.

Химические полиионогенные (поликатионные и полианионные) ХВВ для исследования следующие: фиксатор «Ультрафикс Р-127», флокулянт «Полиамин ССК», связующие: катионный крахмал «Динадин СС 537», «Ультрарез DS 125 Q», клей АКД «Ультрасайз 200» производства ООО «СКИФ Специал Кемикалз», полианионное связующее Na-КМЦ и катионный полиакриламид (Кат ПАА) – других производителей.

Таблица 1. Показатели качества макулатурной массы

Вид массы	Концентрация массы, %	Степень помола, °ШР	Средняя длина волокна (l_B), мм
Нефракционированная масса (НФМ)	2,06	30	1,53
Длинноволокнистая фракция (ДВФ)	2,06	22	1,66
Коротковолокнистая фракция (КВФ)	1,59	40	1,19

Таблица 2. Свойства массы, фильтрата и физико-механические показатели отливок бумаги

Вид массы	Анализ массы и фильтрата*			Физико-механические показатели отливок, 125 г/м ²				
	ζ-потенциал, мВ	фильтрат, катионная потребность, мг-экв/л	скорость обезвоживания, с**	разрывная длина, м	жесткость при растяжении, кН/м	сопротивление продавливанию, кПа	сопротивление плоскостному сжатию СМТ ₃₀ , (12,7/15,0) Н	поверхностная впитываемость воды***, г/м ²
Н/ф, 30 °ШР	-28,8	1,405	40,5	3420	390	240	120/122	213
ДВФ, 22 °ШР	-21,3	1,361	24,0	3180	385	245	112/135	201
ДВФ, 34 °ШР	-25,9	0,652	26,0	4100	455	320	137/154	201
КВФ, 40 °ШР	-42,9	1,385	54,0	3000	365	201	115/134	203

* Все испытания проводились на дистиллированной воде; **объем фиксированной жидкости составлял 770 мл, содержание взвешенных веществ 0–0,25 г; *** Кобб₆₀

Проведено четыре серии экспериментов по обработке массы. Метод обработки и результаты по влиянию ХВВ на ζ -потенциал и катионную потребность массы представлены в таблицах 3–6. В опытах общая масса разделялась пополам, и каждая часть обрабатывалась иным комплексом ХВВ.

Анализ экспериментальных данных таблиц 3–5 позволяет установить закономерность влияния одинакового катионоактивного комплекса ХВВ на свойства массы и фильтрата подсеточной воды. Для н/ф массы, ДВФ и КВФ катионные химикаты снижают ζ -потенциал волокна и уменьшают катионную потребность фильтрата. Однако интенсивность снижения показателей различна для всех видов массы. Для н/ф массы ζ -потенциал снижается на 8,7 мВ, для ДВФ – на 16,7 мВ, для КВФ – на 6,1 мВ.

Уменьшение катионной потребности – соответственно н/ф массы – 0,816 мг-экв./л, ДВФ – 0,735 мг-экв./л, КВФ – 0,894 мг-экв./л. Совместное участие катионогенного и анионогенного полимеров, как видно из таблицы 6, снижает ζ -потенциал значительно меньше – на 1 мВ, а катионную потребность уменьшает на сравнимую величину с катионоактивным комплексом – на 0,7 мг-экв./л.

В таблице 7 представлены данные по влиянию индивидуальных химических катионо- и анионогенных полимеров основной группы ХВВ на физико-механические показатели бумаги при их подаче в различные части массы, соединяемые затем в общую бумажную массу.

Таблица 3. Метод обработки нефракционированной массы и влияние комплекса ХВВ на ζ -потенциал и катионную потребность фильтрата

№ опыта	Масса	Без размол, °ШР	Размол, °ШР	Химикаты, удельный расход, кг/т	Анализ массы и фильтрата	
					ζ -потенциал, мВ	фильтрат, КП, мг-экв./л
1	н/ф	30	–	Масса без ХВВ 1/2 Н/ф	-38,1	1,379
				Ультрафикс Р 127, 1,5 кг/т	-36,2	0,882
				Динадин СS 537, 6,0 кг/т	-30,7	0,626
				Ультрасайз 200, 5,0 кг/т	-29,4	0,563
				Масса без ХВВ, (1/2 Н/ф)	-37,2	1,537
				Кат ПАА, 0,5 кг/т	-35,4	1,457
				1/2 н/ф + 1/2 н/ф	-33,1	1,139

Таблица 4. Метод обработки ДВФ и КВФ и влияние комплекса ХВВ на ζ -потенциал и катионную потребность фильтрата

№ опыта	Масса	Без размол, °ШР	Размол, °ШР	Химикаты, удельный расход, кг/т	Анализ массы и фильтрата	
					ζ -потенциал, мВ	фильтрат, КП, мг-экв./л
2	ДВФ	22	34	Масса без ХВВ, 1/2 ДВФ	-29,9	0,827
				Полиамин СКК, 1,5 кг/т	-26,3	0,222
				Ультрарез DS 150G, 6,0 кг/т	-14,8	0,063
				Ультрасайз 200, 5,0 кг/т	-13,2	0,092
	КВФ	40	–	Масса без ХВВ, 1/2 КВФ	-37,2	1,576
				Кат ПАА, 0,5 кг/т	-36,0	1,489
				1/2 ДВФ + 1/2 КВФ	-31,2	0,886

Таблица 5. Метод обработки ДВФ и КВФ и влияние комплекса ХВВ на ζ -потенциал и катионную потребность фильтрата

№ опыта	Масса	Без размол, °ШР	Размол, °ШР	Химикаты, удельный расход, кг/т	Анализ массы и фильтрата	
					ζ -потенциал, мВ	фильтрат, КП, мг-экв./л
3	КВФ	40	–	Масса без ХВВ, 1/2 ДВФ	-38,8	1,691
				Полиамин СКК, 1,5 кг/т	-35,0	1,114
				Динадин СS 537, 6,0 кг/т	-34,0	0,831
				Ультрасайз 200, 5,0 кг/т	-32,7	0,797
	ДВФ	22	34	Масса без ХВВ, 1/2 КВФ	-36,9	0,734
				Na-КМЦ, 5,0 кг/т	-40,0	0,626
				Кат ПАА, 0,5 кг/т	-32,8	0,672
1/2 КВФ + 1/2 ДВФ					-31,8	0,741

Таблица 6. Метод обработки ДВФ и КВФ и влияние комплекса ХВВ на ζ -потенциал и катионную потребность фильтрата

№ опыта	Масса	Без размол, °ШР	Размол, °ШР	Химикаты, удельный расход, кг/т	Анализ массы и фильтрата	
					ζ -потенциал, мг-экв/г	фильтрат, КП, мг-экв./л
4	КВФ	40	–	Масса без ХВВ, 1/2 ДВФ	-39,1	1,690
				Полиамин СКК, 1,5 кг/т	-37,6	1,569
				Na-КМЦ, 2,0 кг/т	-40,1	1,820
				Динадин CS 537, 6,0 кг/т	-38,1	0,990
	ДВФ	22	34	Масса без ХВВ, 1/2 КВФ	-32,3	0,705
				Ультрасайз 200, 5,0 кг/т	-29,6	0,189
				Na-КМЦ, 3,0 кг/т	-30,4	0,181
1/2 ДВФ + 1/2КВФ					-37,1	0,990

Таблица 7. Физико-механические показатели отливок бумаги (125 г/м²) из общей массы, полученной объединением отдельно обработанных ее частей комплексом полиионогенных полимеров

№	Вид массы*	Разрывная длина, м	Жесткость при растяжении, кН/м	Сопротивление продавливанию, кПа	Сопротивление плоскостному сжатию СМТ ₃₀ , (12,7/15,0) Н	Поверхностная впитываемость воды, г/м ²
1.	Н/ф, без ХВВ, 30 °ШР	3420	390	240	120/122	213
2.	Н/ф, 30 °ШР + химия	4180	520	322	147/179	17,0
3.	ДВФ, без химии, 34 °ШР	4100	455	320	137/154	201
4.	ДВФ, 34 °ШР + химия	5480	565	469	215/238	14,7
5.	КВФ, без химии, 40 °ШР	3000	365	201	115/134	203
6.	КВФ, 40 °ШР + химия	3750	515	295	167/198	13,4
7.	Опыт 1	3420	480	313	151/203	18,9
8.	Опыт 2	4175	555	395	174/238	18,5
9.	Опыт 3	4550	570	301	163/218	22,1
10.	Опыт 4	4690	605	355	164/211	23,5

* В первых шести строках для сравнения приведены физико-механические показатели отливок бумаги, изготовленной из трех видов массы без обработки и с обработкой одним из применяемых комплексом химикатов (химия), фиксатор «Ультрафикс Р-127» (1,5 кг/т), катионный крахмал «Динадин CS 537» (6 кг/т), клей АКД «Ультрасайз 200» (5 кг/т), флокулянт катионный полиакриламид (Кат ПАА) – 0,5 кг/т.

Анализируя экспериментальные результаты таблицы 7, можно отметить следующие закономерности:

а) добавка химии по существующему варианту (последовательно в общую массу) к н/ф макулатурной массы оказывает существенное влияние в пределах 22–34%; отдельно по показателям: разрывная длина, жесткость при растяжении, сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию (полоска 12,7 и 15,0 мм) и поверхностная впитываемость воды – соответственно 22, 33, 34, 23 и 47%;

б) физико-механические показатели бумаги из ДВФ, размолотой до 34 °ШР, уже отличаются величинами, близкими к варианту н/ф массы с добавкой химии; объясняется это тем, что ДВФ имеет среднюю длину волокна 1,66 мм и содержит значительно меньше мелкого волокна и анионных загрязняющих включений, резко снижающих механические свойства бумаги, однако ДВФ составляет только 60% от общей макулатурной массы;

в) добавка химии к ДВФ добавляет большую долю прочности к уже имеющейся прочности бумаги; прирост по отдельным показателям относительно к ДВФ (без химии): разрывная длина, жесткость при растяжении, сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию (полоска 12,7 и 15,0 мм) и поверхностная впитываемость воды – соответственно 34, 24, 47, 57 и 55%;

г) добавка химических реагентов к КВФ повышает прочность образцов бумаги, приближая практически к прочности бумаги из ДВФ (без добавок); прирост по отдельным показателям относительно ДВФ (без добавок): разрывная длина, жесткость при растяжении, сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию (полоска 12,7 и 15,0 мм) и поверхностная впитываемость воды – соответственно 25, 41, 47, 45 и 48%; добавка химии к КВФ приближает ее прочностные свойства к свойствам ДВФ (без добавок);

д) дозировка химикатов по опыту 1 (подача аналогичного комплекса по шести вариантам сравнения) в половину от общей н/ф массы с добавкой во вторую половину массы только катионного полиакриламида (КатПАА) 0,5 кг/т повысила прочность бумаги так, что приблизила ее значения к показателям н/ф массы с химическими реагентами;

е) дозировка химикатов по опыту 2 (подача комплекса химикатов только в половину ДВФ, а во вторую половину КВФ – только КатПАА), кроме показателя «разрывная длина», повысила остальные показатели; прирост по отдельным показателям относительно к н/ф массы (+химические реагенты): разрывная длина, жесткость при растяжении, сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию (полоска 12,7 и 15,0 мм) и поверхностная впитываемость воды – соответственно 0, 7, 23, 18 и 33%; этот вариант по физико-механическим показателям значительно превысил показатели бумаги из ДВМ без добавок;

ж) дозировка химикатов по опыту 3 (подача комплекса химикатов только в половину КВФ, а во вторую половину КВФ – только КатПАА) повышает все механические показатели относительно опыта 2, а по показателям «жесткость при растяжении» и «сопротивление плоскостному сжатию» (показатели, характеризующие преимущественно жесткость бумаги) практически сравнивается с показателями ДВФ с дозировкой реагентов;

з) дозировка химикатов по опыту 4 (дозировка Полиамина ССК, крахмала «Динадин CS 537» и дополнительно связующего Na-КМЦ в половину КВФ, а в половину ДВФ – клея «Ультрасайз 200» и дополнительно Na-КМЦ) повышает физико-механические показатели относительно опыта 3; особенно заметно прирастают показатели «жесткость при растяжении» и «сопротивление продавливанию» – соответственно 6 и 18%;

к) сравнивая экспериментальные результаты физико-механических показателей бумаги массой 125 г/м² с нормами ГОСТ Р 53206-2008 на бумагу для гофрирования [2], можно констатировать, что метод раздельной обработки массы полиионогенными полимерами, особенно в сочетании ДВФ и КВФ, позволяет получить бумагу марки Б-2 по всем показателям, бумагу Б-1 – по показателю «сопротивление плоскостному сжатию» и бумагу Б-0 – по показателю «сопротивление продавливанию»;

л) особенно важно то, что все механические показатели, полученные в рассмотренных экспериментах, достигнуты при удельном расходе химических средств в 2 раза меньшем, чем при традиционной схеме – без раздельной обработки массы;

м) дозировка химикатов, включая катионный клей АКД «Ультрасайз 200», позволяет получать хорошо проклеенную с низкой поверхностной впитываемостью воды бумагу.

Выводы

1. Результаты проведенных экспериментов показали, что обработка различных видов массы индивидуальными комплексами химических катионо- и анионогенных полимеров позволяет повысить механические показатели макулатурной бумаги до уровня норм по ГОСТ Р 53206-2008.

2. Обработка различных видов массы индивидуальными комплексами полимеров показывает высокую экономичность по удельному расходу химикатов. По данным опытов, снижение находится в пределах 40–50%.

3. Результаты экспериментов позволяют разработать научно обоснованную технологию новых схем применения комплекса полиионогенных ХВВ для производства макулатурного тарного картона повышенной механической прочности.

Список литературы

1. ГОСТ 10700-97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия. Минск, 1997. 12 с.
2. ГОСТ Р 53206-2008. Бумага для гофрирования. М., 2009. 12 с.
3. ГОСТ 53207-2008. Картон для плоских слоев гофрированного картона. М., 2009. 16 с.
4. Смолин А.С. Производство тарного картона // Новое в технологии и оборудовании для производства гофрокартона и гофротары : труды Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2007. С. 7–11.
5. Махотина Л.Г., Аким Э.Л. Современные тенденции в технологии тароупаковочных видов бумаги и картона // Новое в технологии и оборудовании для производства гофрокартона и гофротары : труды Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2007. С. 54–57.
6. Лапин В.В. Нанотехнологии. Не все так просто // Химия в ЦБП : труды Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2009. С. 31–33.
7. Ковернинский И.Н. Нанохимия упрочнения бумаги // Химические процессы современной технологии ЦБП : труды Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2010. С. 22–27.

Поступило в редакцию 28 января 2016 г.

После переработки 25 февраля 2016 г.

Kozhevnikov S.Yu. STUDY OF INFLUENCE SEPARATE PROCESSING WASTEPAPER POLIIONOGENNYMI POLYMERS ON MECHANICAL PROPERTIES OF PAPER

Limited Liability Company "SKIF Special Chemicals", Vostochnaja promzona, 7, Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region, 606000 (Russia), e-mail: skif@skif.us

The study of influence of the individual chemical polyionic polymer core group of HVV on deinking properties and physico-mechanical properties of the paper, as they supply to various parts of the mass contained in the work. Unfractionated (n/t) and fractional deinking wastepaper MS-5B – 2 fractions – long fiber (DVF) and short (CRF) were taken for research.

Chemical polyionic (polycationic and polyanionic) HVV for the study were as follows: lock "Ultrafiks P-127" flocculant "polyamine SSK" binders: cationic starch "Dinadin CS 537", "Ultrarez DS 125 the Q" glue AAA "Ultrasayz 200" – production of "SKIF Special Chemicals» Ltd., polyanionic binder Na-CMC and cationic polyacrylamide (PAA Cat) – other manufacturers.

A 4 series of experiments were conducted at mass processing. In the experiments the total mass was divided in half and each part is handled differently HVV complex. The following results: the addition of chemicals to the DWF adds strength to the larger share of the existing strength of the paper; increase over separate Ratios respect to VVM (without chemicals) – breaking length, stiffness, tensile, burst resistance, resistance to planar compression (12,7 bar and 15,0 mm), respectively, 34, 24, 47, 57 and 55%; addition of chemicals to increase strength WFC paper samples almost to the strength of the paper DVF; increase over separate Ratios relative to DWF – breaking length, stiffness, tensile, burst resistance, resistance to planar compression (12,7 bar and 15,0 mm), respectively, 25, 41 47, 45 and 48%; chemical additive to the WFC brings its strength properties to the DWF properties; comparing experimental results of physical and mechanical properties of paper, weighing 125 g/m², with the standards GOST R 53206-2008 on fluting, it can be stated that the method of separate application poliionogennymi weight polymers, especially in combination DVF and CRF, provides a paper grade B-2 on all indicators, paper B-1 in terms of "resistance plane compression" and paper B-0 in terms of "bursting".

Keywords: polyionic polymers; waste paper, paper, mechanical properties.

References

1. GOST 10700-97. *Makulatura bumazhnaia i kartonnaia. Tekhnicheskie usloviia*. [State Standard 10700-97. Paper for recycling paper and cardboard. Specifications]. Minsk, 1997, 12 p. (in Russ.).
2. GOST R 53206-2008. *Bumaga dlia gofirovaniia*. [State Standard P 53206-2008. Paper for corrugating]. Moscow, 2009, 12 p. (in Russ.).
3. GOST 53207-2008. *Karton dlia ploskikh sloev gofirovannogo kartona*. [State Standard 53207-2008. Cardboard for flat layers of corrugated cardboard]. Moscow, 2009, 16 p. (in Russ.).
4. Smolin A.S. *Novoe v tekhnologii i oborudovanii dlia proizvodstva gofrokartona i gofrotary: trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [New technology and equipment for the production of corrugated board and corrugated packaging: Proceedings of the International scientific-practical conference]. St. Petersburg, 2007, pp. 7–11. (in Russ.).
5. Makhotina L.G., Akim E.L. *Novoe v tekhnologii i oborudovanii dlia proizvodstva gofrokartona i gofrotary: trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [New technology and equipment for the production of corrugated board and corrugated packaging: Proceedings of the International scientific-practical conference]. St. Petersburg, 2007, pp. 54–57. (in Russ.).
6. Lapin V.V. *Khimiia v TsBP: trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Chemicals in the pulp and paper industry: proceedings of the international scientific-practical conference]. St. Petersburg, 2009, pp. 31–33. (in Russ.).
7. Koverninskii I.N. *Khimicheskie protsessy sovremennoi tekhnologii TsBP: trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Chemical processes of modern pulp and paper technology: proceedings of the international scientific-practical conference]. St. Petersburg, 2010, pp. 22–27. (in Russ.).

Received January 28, 2016

Revised February 25, 2016