

ISSN 2079-8199

ВЕСТНИК

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ТЕХНОЛОГИИ И ДИЗАЙНА

научный журнал

Серия 1
ЕСТЕСТВЕННЫЕ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 4

2016

УДК 676.024

И. Г. Гайнанова, Р. О. Шабиев, А. С. Смолин

Высшая Школа Технологии и Энергетики СПбГУПТД
198095 РФ, Санкт-Петербург, Ивана Черных, 4**АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА***

© И. Г. Гайнанова, Р. О. Шабиев, А. С. Смолин, 2016

В статье приводится исследование промышленных катионных полиэлектролитов на основе анализа кривых изменения электрокинетического потенциала растительных волокон и других физико-химических параметров растительных волокон и полиэлектролитов. Изменение электрокинетического потенциала исследовалось на примере белой химико-термомеханической массы из осины, лиственной и хлопковой целлюлозы. На основе полученных данных предложен метод прогнозирования поведения катионных полиэлектролитов в бумажной массе ■

Ключевые слова ■ электрокинетический потенциал, катионный полиэлектролит, волокнистый полуфабрикат, плотность заряда.

Введение

В процессе обработки бумажной массы для улучшения технологических параметров и потребительских свойств широко применяются импортные и отечественные катионные полиэлектролиты. Несмотря на доказанную эффективность и всестороннее изучение фундаментальных свойств полиэлектролитов как класса химических соединений, параметры качества промышленных полиэлектролитов и способы оценки их поведения в технологическом процессе изучены достаточно слабо. Производители не раскрывают состав химических соединений и технологии производства, что осложняет поиск отечественных аналогов импортных реагентов. Рациональное применение существующих химических реагентов является одной из наиболее актуальных задач прикладной науки. В настоящее время производитель химических добавок раскрывает информацию только о нескольких их параметрах, таких как вид, диапазон молярной массы, вязкость в разных единицах, pH, содержание сухого вещества, реже плотность заряда и некоторые другие. Плотность заряда, определяемая индикаторным титрованием или при помощи прибора SCD (Streaming Current Detector), позволяет говорить лишь об общем содержании функциональных групп, но не их особенностях [1]. Более того, для производства каждого вида бумаги используется свой волокнистый полуфабрикат, присутствие которого оказывает серьезное влияние на свойства оборотной воды. Таким образом, необходимо для каждого полиэлектролита проводить предварительные производственные испытания. В нашей статье предлагается прогнозирование функциональности и предназначения катионных полиэлектролитов посредством анализа кривых изменения электрокинетического потенциала разных видов растительных волокон.

Известно ([2], [3]), что кривые изменения электрокинетического потенциала являются надежной оценкой поверхностных свойств, минимальное изменение которых отражается на изменении формы кривой.

Любые заряженные частицы в растворе являются носителями заряда, и при их переходе из объемной фазы на твердую поверхность в результате адсорбции происходит перераспределение зарядов, что отражается в изменении двойного электрического слоя, для растительных волокон это изменение выражается в изменении потенциала протекания. Кроме того в случае с растительными волокнами надо учитывать их пористую структуру, катионные полиэлектролиты с разной молярной массой по-разному проникают внутрь волокна [4]. Таким образом, на изменение электрокинетического потенциала влияет не только содержание ионогенных групп в целлюлозе (преимущественно карбоксильных), но и пористая структура, а также проводимость дисперсионной среды.

Цель нашей работы состояла в анализе отечественных промышленных полиэлектролитов на основе их взаимодействия с растительными волокнами посредством интерпретации кривых изменения электрокинетического потенциала в зависимости от проводимости среды. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи: оценить полиэлектролиты принятыми стандартными методами контроля качества; определить характер изменения электрокинетического потенциала при обработке волокнистых полуфабрикатов катионными полиэлектролитами; сделать выводы о влиянии вида волокнистого полуфабриката, химической природы полиэлектролита и проводимости среды на изменение электрокинетического потенциала.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали образцы промышленных полиэлектролитов, используемые на целлюлозно-бумажных предприятиях: катионный сополимер акриламида (КСАА), промышленное название Ультафикс Р-127 ТУ 2227-007-70048729-08 производства компании «Скиф Спешиал Кемикалз»; полиамин ПК-2 ТУ 2499-032-43003003 производства компании «Химсинтез»; катионный водорастворимый

полиэлектролит ВПК-402 ТУ 2227-184-00203312-2012 производства компании «Каустик»; для сравнения использовали полиэлектролит аналитического качества полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ) поставляемый компанией AFG GmbH (Германия), который может быть использован в тех же целях, что и выбранные отечественные добавки. Промышленные полиэлектролиты отличаются от аналитических смешанным составом мономеров, при этом химическая формула их основного компонента никогда не раскрывается. Полиэлектролит ПДАДМАХ имеет свой международный CAS — номер 26062-79-3, который является подтверждением его химической структуры. В ряде литературных источников [5] ВПК-402 фактически называют техническим ПДАДМАХ, и приводится общий CAS- номер, однако производитель «Каустик» в технических условиях это не указывает.

Водные растворы полиэлектролитов для проведения исследования приготавливали непосредственно перед началом эксперимента, поскольку однообразное приготовление растворов полиэлектролита позволяет получать воспроизводимые результаты. Рабочая концентрация раствора составляла 1 г/дм³ (кроме ПДАМАХ, который приготавливается в виде стандарт-титра 0,64 г/дм³). В лабораторный стеклянный стакан вносили взвешенную навеску полиэлектролита и добавляли небольшое количество дистиллированной воды, затем перемешивали полученную смесь на магнитной мешалке до полного растворения полиэлектролита. Полученный раствор из стакана переносили в мерную колбу путем многократного промывания и доведением раствора до метки, полученный раствор должен быть однородным и прозрачным. В дальнейшем концентрацию пересчитывали на дозировку в единицах кг полиэлектролита на 1 т воздушно-сухого волокнистого полуфабриката.

Определение плотности заряда производили методом обратного индикаторного титрования [1] с расчетом на один грамм товарного продукта без учета сухого вещества. Поскольку многие производители указывают такой параметр как условная вязкость, в исследовании также определяли этот показатель при концентрации 5% на вискозиметре типа ВЗ-2, при температуре 20,0±0,5 °С в среде 0,1 н. NaCl, полагая что в этих условиях на скорость истечения жидкости не должен проявляться полиэлектролитный эффект. Стоит отметить, что такие измерения можно считать лишь косвенными, пригодными только для конкретного технологического процесса производства химической добавки, поскольку известно, что в товарном полиэлектролите кроме основного компонента могут содержаться побочные, например, соль в количестве около 10% по сухому веществу. Следовательно, больший смысл имеют измерения, которые выполняются при низкой концентрации полиэлектролита, когда побочный продукт не оказывает большого влияния, такими измерениями являются плотность заряда и электрокинетический потенциал.

Взаимодействие полиэлектролитов было изучено на примере сульфатной беленой лиственной целлюлозы (ЦСФАЛБ), беленой химико-термомеханической массы из осины (БХТММ), хлопковой целлюлозы в виде лин-

тера. Данные полуфабрикаты являются стандартными для такого исследования [1] и были выбраны исходя из содержания карбоксильных групп, что характеризует химическую чистоту, также учитывался способ их производства и применения в бумаге. Лиственная целлюлоза используется повсеместно для производства бумаги-тисью и печатных видов, входит в состав поверхностного слоя при производстве картона. БХТММ является полуфабрикатом высокого выхода и широко применяется при изготовлении картона. Хлопок в виде линтера является волокном с высоким содержанием α-целлюлозы и пригоден для выработки высококачественной бумаги, при производстве которой в бумажную массу добавляют большое количество вспомогательных химических веществ, в том числе полиэлектролитов. Измерение электрокинетического потенциала производили методом потенциала протекания на анализаторе дзета-потенциала целлюлозных волокон FPA (Fiber Potential Analyzer), предоставленным компанией AFG GmbH (Германия). При расчете электрокинетического потенциала прибор выводит на дисплей данные об электропроводности жидкой фазы, которые также использовались в работе.

Для проведения испытания навеску полуфабриката массой 20 г воздушно-сухого вещества помещали в стакан на 1000 см³ и доводили до метки дистиллированной водой. Массу оставляли набухать на один час, дальнейший ее роспуск осуществляли в лабораторном гидроразбивателе ЛГ-3, который входит в состав лабораторного комплекта ЛРК-1. Дезинтегрированную массу загружали в стакан и переливали на воронку Бюхнера, где промывали дистиллированной водой от посторонних ионов, образовавшийся на воронке волокнистый слой разбавляли деионизированной водой в цилиндре до 2000 дм³, затем производили роспуск массы в течение 1,5 мин с использованием лопастной мешалки. Для каждого вида растительных волокон отбирали пробу объемом 400 см³гм³, концентрация целлюлозы в пробе составляла 4±0,1 г/л. В отобранную массу вносили полиэлектролит ВПК — 402 (4 см³, C = 1 г/л) и 20 см³ соли 0,1 н. NaCl для создания электропроводности 500±50 мкСм/см и 40 см³ для проводимости 1000±100 мкСм/см соответственно. Полученную массу перемешивали в течение 5 с, далее производили определение электрокинетического потенциала. Повторное измерение производили через каждые 5 мин. Дозировка последующих полиэлектролитов подбиралась таким образом, чтобы исходная величина электрокинетического потенциала была одинаковой при добавлении всех исследуемых полиэлектролитов.

Результаты и их обсуждение

Исследуемые промышленные полиэлектролиты ВПК-402, КСПАА, ПК-2 являются одним классом химических добавок, то есть фиксаторами анионных загрязнений, имеют близкую вязкость и молярную массу, кроме того имеют схожую плотность заряда, которая показывает содержание функциональных групп (табл. 1).

Полученные данные показывают, что ВПК-402 и ПК-2 близки по плотности заряда и содержанию сухих

Таблица 1. Характеристики исследуемых полиэлектролитов

Химическая добавка	Плотность заряда, ммоль/г	Массовая доля сухих веществ, %	Время истечения 5% р-ра, с	ММ, $\times 10^6$
ВПК-402	2,3	25**	52,0	0,1–0,15*
ПК-2	2,4	23**	45,7	0,05–0,1**
КСПАА	1,5	27**	49,6	-
ПДАДМАХ	1,22	20*	46,9	0,1**

*литературные данные [5], ** по данным производителя

Таблица 2. Содержание карбоксильных групп в растительных волокнах, ммоль/кг

Волокнистый полуфабрикат	Алкалиметрическим методом	Колориметрическим методом	
		Сорбцией метиленового голубого при pH 7	Сорбцией метиленового голубого при pH 8,5
БХТММ	38,3	93,3	97,9
ЦСФАЛБ	29,4	39,7	-
Линтер	6,5	5,9	4,4

веществ, однако ПК-2 имеет самую высокую плотность заряда при самом быстром истечении. Данные по времени истечения можно сравнивать с данными по молярной массе, заявленными производителями полиэлектролитов. Высокий показатель плотности заряда ВПК-402 характеризуется высокой вязкостью и молярной массой. Самая низкая плотность заряда наблюдается у ПДАДМАХ, что, возможно, связано с низкой исходной концентрацией 20%. Плотность заряда КСПАА близка к ПДАДМАХ, при этом показатели вязкости и содержания сухих веществ КСПАА оказываются выше.

По результатам исследования содержания карбоксильных групп в волокнистом полуфабрикате (табл. 2) видно, что хлопковая целлюлоза имеет минимальное их количество, поскольку относится к химически чистому растительному сырью с высоким содержанием α -целлюлозы, это подтверждает идею об использовании линтера в качестве хорошей модели для оценки адсорбции катионных полиэлектролитов, поскольку в этом случае адсорбция полиэлектролитов будет обуславливаться пористой структурой целлюлозы, и лишь незначительно будет влиять присутствие карбоксильных групп.

Адсорбция полиэлектролитов на частицах дисперсной фазы может происходить за счет электростатических или химических взаимодействий, ионного обмена, сил Ван-дер-Ваальса. Процесс адсорбции катионных полиэлектролитов на целлюлозных волокнах, имеющих отрицательный заряд, происходит, главным образом, за счет электростатического притяжения [6]. Следствием адсорбции макромолекул является изменение электрокинетического потенциала, при этом его величина снижается тем быстрее, чем выше содержание функциональных групп и молярная масса полиэлектролита. Из полученных данных по адсорбции полиэлектролитов на волокнах хлопковой целлюлозе (рис. 1, 2) видно, что после предварительного снижения электрокинетического потенциала происходит некоторое его восстановление. Такой характер изменения свидетельствует о постепенной диффузии макромолекул во внутренние слои клеточной стенки. Повышение проводимости от 500 до 1000 мкСм/см вызывает сжатие двойного электрического слоя и ионного радиуса макромолекул, при этом важно отметить тот факт, что проводимость

влияет на величину потенциала, а не на тенденцию изменения дзета-потенциала. Повышение проводимости повысило адсорбцию ВПК-402 и ПДАДМАХ, но снизило адсорбцию КСПАА и ПК-2. Чтобы сохранить тенденцию изменения и получить одинаковое падение электрокинетического потенциала, пришлось в 2 раза увеличивать дозировку КСПАА, что говорит о его слабой устойчивости к повышению проводимости. Вызывает интерес тот факт, что электрокинетический потенциал при добавлении ВПК-402 и ПДАДМАХ имеет одинаковый характер изменения, разница связана с разным содержанием сухого вещества, ВПК-402 имеет исходную концентрацию $C=25\%$, а концентрация ПДАДМАХ $C=20\%$. Такое совпадение связано со схожей структурой полиэлектролитов, подобное можно отметить по отношению к КСПАА и ПК-2, химический состав которых производители не раскрывают. Вполне вероятно, что форма кривой отвечает за характер взаимодействия с растительными волокнами.

Характер изменения электрокинетического потенциала БХТММ после взаимодействия с катионными полиэлектролитами отличается от хлопковой целлюлозы. На рис. 2, 3 видно, что после предварительной перезарядки БХТММ происходит быстрое восстановление электрокинетического потенциала в зависимости от добавки. Волокна БХТММ характеризуются более пористой структурой и имеют большее содержание функциональных групп по сравнению с другими полуфабрикатами, используемыми в исследовании, что способствует активной адсорбции полиэлектролитов, связанной с резким снижением электрокинетического потенциала в первоначальный период времени. Дальнейшее изменение электрокинетического потенциала происходит медленнее, т.к. карбоксильные группы БХТММ вступают в прямую химическую связь с полиэлектролитами, это приводит к образованию прямой ионной связи. Полиэлектролиты остаются на поверхности, диффузия молекул полиэлектролитов в клеточные стенки волокна протекает значительно медленнее. Самая низкая дозировка для достижения изоэлектрической точки у ВПК-402 и КСПАА, однако обе добавки очень быстро исчезают с поверхности, дольше всех остается ПК-2.

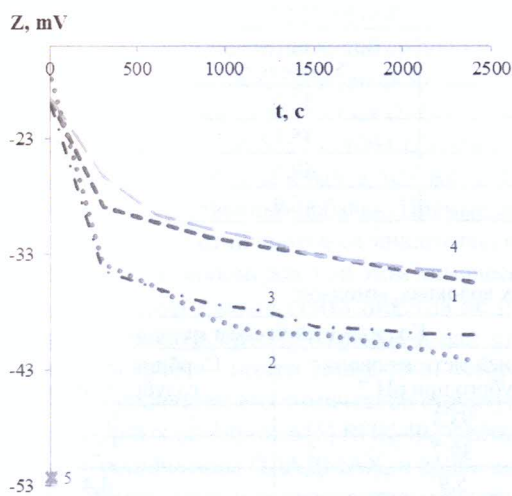


Рис. 1. Изменение электрокинетического потенциала линтера при добавлении катионных полиэлектролитов (~500 мкСм/см): 1 — ВПК-402, 1 кг/т; 550 мкСм/см; 2 — ПК-2, 1,5 кг/т; 485 мкСм/см; 3 — КСПАА, 1,1 кг/т; 512 мкСм/см; 4 — ПДАДМАХ, 3 кг/т; 538 мкСм/см; 5 — нулевая точка

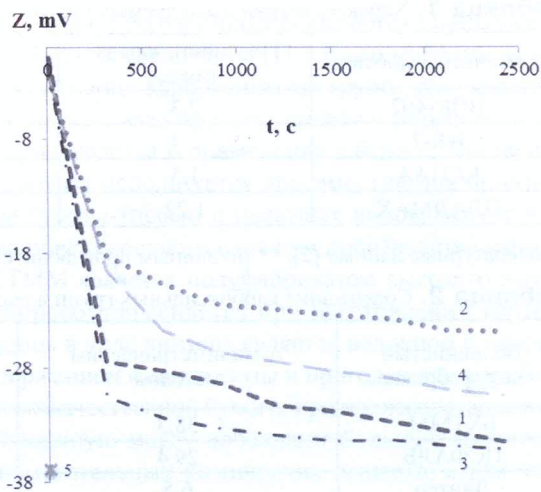


Рис. 3. Изменение электрокинетического потенциала БХТММ при добавлении катионных полиэлектролитов (~500 мСм/см): 1 — ВПК — 402, 1 кг/т; 538 мкСм/см; 2 — ПК-2, 6,25 кг/т; 550 мкСм/см; 3 — КСПАА, 1,25 кг/т; 550 мкСм/см; 4 — ПДАДМАХ, 10,75 кг/т; 529 мкСм/см; 5 — нулевая точка

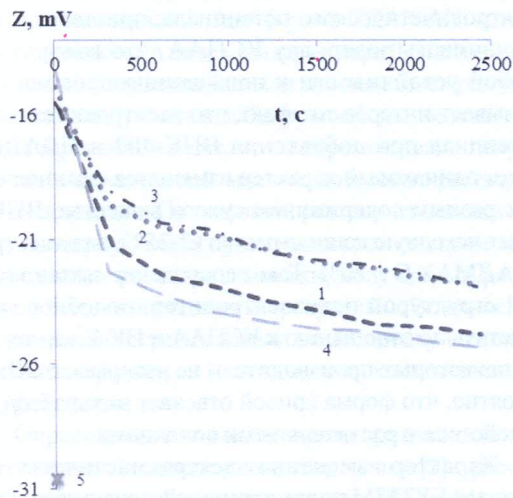


Рис. 2. Изменение электрокинетического потенциала линтера при добавлении катионных полиэлектролитов (~1000 мкСм/см): 1 — ВПК-402, 1 кг/т; 990 мкСм/см; 2 — ПК-2, 1,5 кг/т; 1065 мкСм/см; 3 — КСПАА, 2,5 кг/т; 1075 мкСм/см; 4 — ПДАДМАХ, 2,5 кг/т; 1014 мкСм/см; 5 — нулевая точка

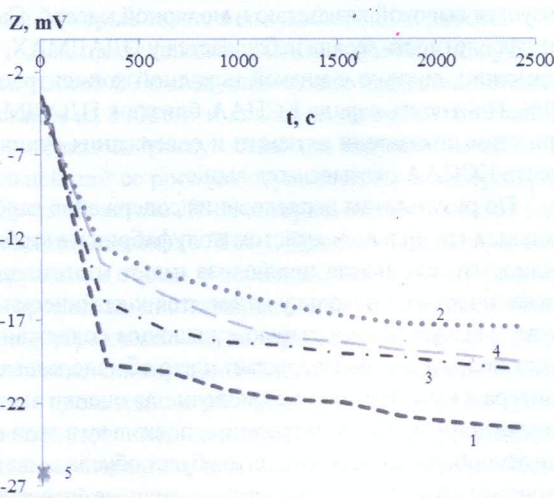


Рис. 4. Изменение электрокинетического потенциала БХТММ при добавлении катионных полиэлектролитов (~1000 мСм/см): 1 — ВПК-402, 1 кг/т; 1066 мкСм/см; 2 — ПК-2, 2,5 кг/т; 1102 мкСм/см; 3 — КСПАА, 5 кг/т; 1100 мкСм/см; 4 — ПДАДМАХ, 11,2 кг/т; 996 мкСм/см; 5 — нулевая точка

Повышение проводимости повысило адсорбцию ВПК-402, практически не повлияла на КСПАА, но снизило адсорбцию ПДАДМАХ и ПК-2. Чтобы сохранить тенденцию изменения и получить одинаковое исходное снижение электрокинетического потенциала, пришлось в 4 раза увеличивать дозировку КСПАА, что говорит о его слабой устойчивости к повышению электропроводности.

На рис 5, 6 представлен характер изменения электрокинетического потенциала лиственной целлюлозы после взаимодействия с катионными полиэлектролитами.

Из полученных данных видно, что после предварительной сильной перезарядки лиственной целлюлозы наблюдается быстрое снижение электрокинетического потенциала первые 5 минут контакта, затем

скорость изменения данного показателя значительно падает, что связано с поглощением целлюлозой добавок во внутриклеточную стенку. Самая низкая дозировка для достижения изоэлектрической точки приходится на ПК-2, однако ПК-2 быстрее всех исчезает с поверхности. ПДАДМАХ, имея высокую дозировку, сохраняется на поверхности дольше всех. Повышение проводимости повысило адсорбцию ПК-2 и ВПК-402, ПДАДМАХ, но практически не повлияло на поглощение КСПАА. Чтобы сохранить тенденцию изменения и получить одинаковое падение электрокинетического потенциала, в 1,5 раза увеличили дозировку КСПАА, что говорит о его слабой устойчивости к повышению проводимости. Повышение проводимости способствует быстрой адсорбции ПДАДМАХ в клеточную стенку.

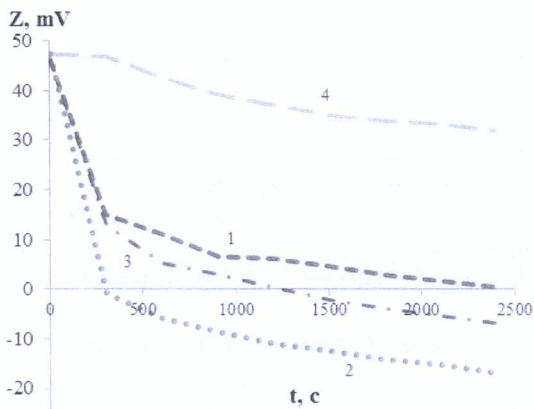


Рис. 5. Изменение электрокинетического потенциала лиственной целлюлозы при добавлении катионных полиэлектролитов (~500 мкСм/см): 1 — ВПК-402, 1 кг/т; 481 мкСм/см; 2 — ПК-2, 0,68 кг/т; 463 мкСм/см; 3 — КСПАА, 0,98 кг/т; 487 мкСм/см; 4 — ПДАДМАХ, 6,15 кг/т; 450 мкСм/см; 5 — нулевая точка

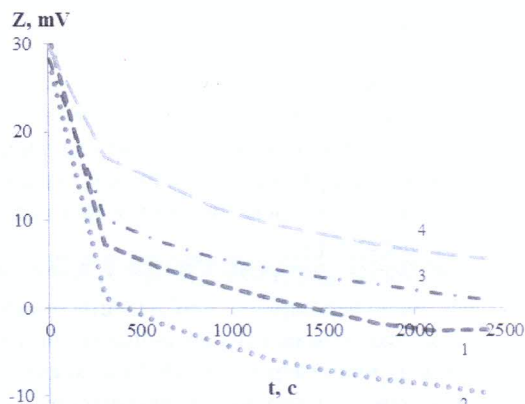


Рис. 6. Изменение электрокинетического потенциала лиственной целлюлозы при добавлении катионных полиэлектролитов (~1000 мкСм/см): 1 — ВПК-402 1 кг/т; 900 мкСм/см; 2 — ПК-2, 0,75 кг/т; 910 мкСм/см; 3 — КСПАА, 1,40 кг/т; 900 мкСм/см; 4 — ПДАДМАХ, 5 кг/т; 935 мкСм/см; 5 — нулевая точка

Таблица 3. Сравнительные характеристики расхода полиэлектролитов и электрокинетического потенциала при разной проводимости, 500 (1000) мкСм/см

Наименование	ЦСФАЛ	БХТММ	Линтер	ЦСФАЛ	БХТММ	Линтер
	Расход для достижения исходной точки, кг/т			Электрокинетический потенциал, мВ		
ВПК-402	1,0 (1,0)	1,0 (1,0)	1,0 (1,0)	46,1 (30,5)	-0,9 (-4,1)	-19,7 (-15,8)
ПДАДМАХ	6,2 (5,0)	10,8 (11,2)	3,0 (2,5)	47,3 (29,6)	-2,5 (-4,0)	-19,6 (-14,2)
ПК-2	0,7 (0,8)	6,3 (5,8)	1,5 (1,5)	47,2 (28,1)	-2,6 (-4,4)	-17,8 (-14,9)
КСПАА	1,0 (1,4)	1,3 (5,0)	1,2 (2,5)	46,1 (28,3)	-1,6 (-3,4)	-20,2 (-15,5)

Как видно из таблицы 3, для достижения одинаковой исходной точки при разной проводимости для разных полиэлектролитов требуются разные дозировки, что является важным параметром для полиэлектролитов. Наибольший расход наблюдается у ПДАДМАХ, что можно объяснить относительно низкой плотностью заряда полиэлектролита и исходной концентрацией, и, наоборот, достаточно высокая плотность ВПК-402 и ПК-2 способствует снижению их расхода для достижения одинаковой величины электрокинетического потенциала. Полученные данные подтверждаются лабораторными экспериментами по крашению бумажной массы из целлюлозы прямыми красителями, для ПК-2 понадобилась меньшая дозировка, чтобы добиться высокого закрепления красителя, по сравнению с КСПАА и ВПК-402 [7].

На представленных электрокинетических кривых наблюдается общая закономерность взаимодействия полиэлектролитов с волокнистыми полуфабрикатами, в частности, можно выделить три участка на кривой изменения электрокинетического потенциала (рис. 7). Первый участок на кривой характеризуется практически моментальным поглощением катионного полиэлектролита поверхностью волокна, в некоторых случаях может произойти перезарядка, и электрокинетический потенциал может поменять знак. На втором участке наблюдается начало адсорбции полиэлектролита во внутреннюю стенку волокна, что проявляется в снижении электрокинетического потенциала в прямолинейной зависимости от времени адсорбции. Граница данного

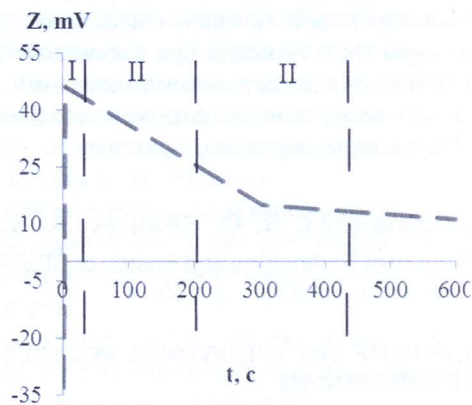


Рис. 7. Схематическое представление кривой изменения электрокинетического потенциала

участка совпадает с остаточным содержанием полиэлектролита в растворе и зависит от особенностей взаимодействия полиэлектролита с волокном. На третьем участке происходит некоторое замедление изменения данного показателя, что связано с поглощением добавок во внутриклеточные стенки волокон целлюлозы, что вызывает дальнейшее снижение электрокинетического потенциала.

Таким образом, при сопоставлении характера изменения электрокинетического показателя, промышленных образцов полиэлектролитов методом потенциала протекания, можно предварительно оценить

эффективность взаимодействия полиэлектrolитов с волокнистыми полуфабрикатами. Чтобы выработать объективную систему оценки полиэлектrolитов, прогнозировать их функциональность и предназначение, необходимо использовать разные виды волокнистого полуфабриката при разной проводимостью и жидкой фазы, дополнительно рекомендуется использовать следующие параметры:

1. Плотность заряда на сухое вещество;
2. Расход до перезарядки или существенного снижения электрокинетического потенциала при разной проводимости, например 500 и 1000 мкСм/см;
3. Изменение электрокинетического потенциала после 5–10 минут взаимодействия полиэлектrolита с растительными волокнами.

Можно сделать вывод, что такие параметры, как исходная дозировка и форма кривой, являются характеристическими для каждого полиэлектrolита и волокнистого полуфабриката, поскольку электрокинетический потенциал является качественной мерой, а не количественной, очень важно знать характер его изменения, при этом построение регрессионной модели выглядит проблематичным. Получение таких данных может помочь в понимании химического состава и структуры промышленного полиэлектrolита, и может использоваться для идентификации химических добавок.

Выводы

1. Электрокинетический потенциал не является количественным показателем, поэтому для оценки поверхностных свойств волокон необходимо изучать всю кривую его изменения при взаимодействии полиэлектrolитов с растительными волокнами. Результаты такого анализа носят дискуссионный характер, и требуют подтверждения на практике.

I. G. Gainanova, R. O. Shabiev, A. S. Smolin

High School of Technology and Energy of SPSUITD
198095 Russia, Ivan Chernykh str., 4

ANALYSIS OF THE INDUSTRIAL POLYELECTROLYTES USED IN THE MANUFACTURE OF PAPER AND PAPERBOARD

The article presents a study of industrial cationic polyelectrolyte based on analysis of curves of electrokinetic potential alteration and some other parameters. The alteration of electrokinetic potential was studied on chemo-thermomechanical pulp from aspen hardwood and cotton pulp. On the basis of experimental data, a method of forecasting the properties of cationic polyelectrolyte concerning paper stock has been developed ■

Key words ■ electrokinetic potential, cationic polyelectrolytes, fiber pulp, charge density.

References

1. Shabiev R. O., Smolin A. S. Pulp analysis of electrokinetic parameters. SPb.: SPbGTURP, 2012. 80 p. (in russ.).
2. Siffert B., Metzger J.-M. Study of the interaction of titanium dioxide with cellulose fibers in an aqueous medium // *Colloids and Surfaces*. 1991. V. 53. P. 79–99.
3. Bellmann C. et al. Electrokinetic properties of natural fibres // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. V. 267. P. 19–23.
4. Hubbe M. A. Sensing the electrokinetic potential of cellulosic fiber surfaces // *BioResources*. 2007. V. 1. P. 116–149.
5. Topchiev D. A., Malkanduev Yu. Cationic polyelectrolyte production, properties and applications. M: Akademkniga, 2004. 228 p. (in russ.).
6. Fleeer G. J., Cohen Stuart M. A., Scheutjens J. M. H. N., Cosgrove T., Vincent B. *Polymers at Interfaces*. London: Chapman and Hall, 1993. 502 p.
7. Problems of pulp and paper materials: Materials III-between. nauch. tehn. Conf. (Arkhangel'sk, September 9–11, 2015) / M. V. Lomonosov North. (Arctic.) Univ. Arkhangel'sk NAhFU, 2015. 373 p. (in russ.).

2. Метод оценки полиэлектrolитов по измерению потенциала протекания позволяет охарактеризовать адсорбцию полиэлектrolитов на поверхности волокон, на основании чего можно прогнозировать функциональность и предназначение катионных полиэлектrolитов.

3. Характер изменения электрокинетического потенциала растительных волокон как минимум определяется пористостью и содержанием функциональных групп построением полиэлектrolита и проводимостью среды.

Статья была выполнена в рамках госзадания № 11.677.2016/ДААД по программе "Михаил Ломоносов" Министерства образования и науки РФ и германской службы академических обменов DAAD

Список литературы

1. Шабиев Р. О., Смолин А. С. Анализ электрокинетических параметров бумажной массы. СПб.: СПбГТУРП, 2012. 80 с.
2. Siffert B., Metzger J.-M. Study of the interaction of titanium dioxide with cellulose fibers in an aqueous medium // *Colloids and Surfaces*. 1991. V. 53. P. 79–99.
3. Bellmann C. et al. Electrokinetic properties of natural fibres // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. V. 267. P. 19–23.
4. Hubbe M. A. Sensing the electrokinetic potential of cellulosic fiber surfaces // *BioResources*. 2007. V. 1. P. 116–149.
5. Топчиев Д. А., Малкандуев Ю. А. Катионные полиэлектrolиты: получение, свойства и применение. М.: Академкнига, 2004. 228 с.
6. Fleeer G. J., Cohen Stuart M. A., Scheutjens J. M. H. N., Cosgrove T., Vincent B. *Polymers at Interfaces*. London: Chapman and Hall, 1993. 502 p.
7. Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. материалы III Междунар. науч. техн. конф. (Архангельск, 9–11 сентября 2015 г.) / Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. Архангельск.: САФУ, 2015. 373 с.