

Н.В. Жолнерович, мл. науч. сотрудник; Г.М. Горский, профессор;
Н.В. Черная, доцент

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИАМИДПОЛИАМИНЭПИХЛОГИДРИНОВОЙ СМОЛЫ

Rheological behavior of filamentary suspension in presence a polyamidepolyamineepichlorohydrin of resin.

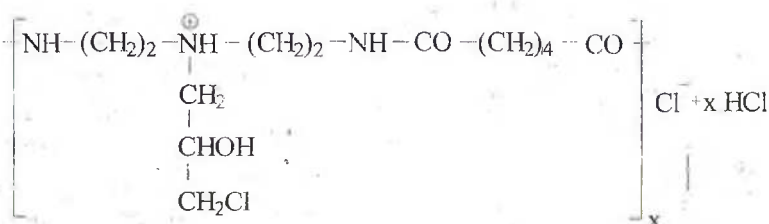
Повышение качества бумажной продукции неотъемлемо связано с изучением процессов структурообразования волокнистой суспензии при подготовке массы и отливе бумажного полотна. Управление процессами структурообразования в волокнистых суспензиях возможно при наличии реологических кривых течения. Исследования реологического поведения волокнистых суспензий позволяют оценить степень диспергированности волокна в потоке на различных стадиях их подготовки.

В настоящее время изучению реологии волокнистых суспензий уделяется значительное внимание. Большинство работ [1–4] связано с изучением реологического поведения целлюлозных суспензий, не содержащих в композиции каких-либо добавок. Современные технологии получения высококачественных клееных видов бумаги и картона предполагают применение в композиции проклеивающих веществ, коагулянта и полиэлектролитов. Присутствие этих добавок оказывает существенное влияние на реологию волокнистых суспензий. Однако изучению реологического поведения волокнистых суспензий в присутствии различных добавок посвящено незначительное количество работ [5, 6].

При производстве клееных видов бумаги и картона широкое распространение получили катионные полиэлектролиты. Известно [7], что катионные полиэлектролиты играют важную роль в процессе флокуляции волокнистой суспензии и оказывают существенное влияние на реологическое поведение волокнистой суспензии. Эффективность процесса флокуляции в значительной мере зависит от расхода полиэлектролита и условий введения его в технологический поток. Поэтому изучение реологического поведения волокнистой суспензии в присутствии катионных полиэлектролитов представляет научный и практический интерес. Среди катионных полиэлектролитов перспективным является полиамидполиаминэпихлоридриновая смола (ППЭС).

Цель работы – исследование реологического поведения волокнистой суспензии концентрацией 1,0, 2,0 и 3,0% в присутствии ППЭС для управления процессами структурообразования перед отливом бумажного полотна.

ППЭС (ТУ РБ 300041455.021-2001) представляет собой продукт поликонденсации диэтилентриамин с адипиновой кислотой, модифицированный эпихлоридрином, с молекулярной массой 10^4 у. е., структурная формула которого представлена ниже:



Объектом исследований являлась проклеенная волокнистая суспензия, состоящая из 100% сульфитной целлюлозы из лиственных пород древесины (ГОСТ 28172-89) со степенью

помола $30 \pm 2^\circ \text{ШР}$. В волокнистую суспензию последовательно дозировали канифольную эмульсию ТМВС-2Н [8] в количестве 1,5% от абс. сух. волокна, сернокислый алюминий (ГОСТ 3758-75) в количестве 2% от абс. сух. волокна. Затем в проклеенную волокнистую суспензию добавляли ППЭС, расход которого увеличивали от 0,05 до 0,25% от абс. сух. волокна. В работе исследовано реологическое поведение волокнистой суспензии с концентрацией 1,0, 2,0 и 3,0%, что обусловлено рабочим диапазоном концентраций волокнистой суспензии на ведущих бумажных и картонных предприятиях. Для оценки реологического поведения волокнистой суспензий использовали ротационный вискозиметр «Реотест-2» [9], принцип работы которого основан на регистрации скорости вращения подвижного цилиндра (внутреннего), пропорциональной скорости деформации исследуемой системы.

На рис. 1 представлены реологические кривые течения исходной волокнистой суспензии концентрацией 1,0, 2,0 и 3,0% без добавок. Получено, что увеличение концентрации волокнистой суспензии от 1,0 до 3,0% сопровождается увеличением предельного напряжения сдвига от 5,5 до 241,1 Па, что вызвано упрочнением сетчатой волокнистой структуры за счет увеличения контактов между волокнами и увеличения сил трения.

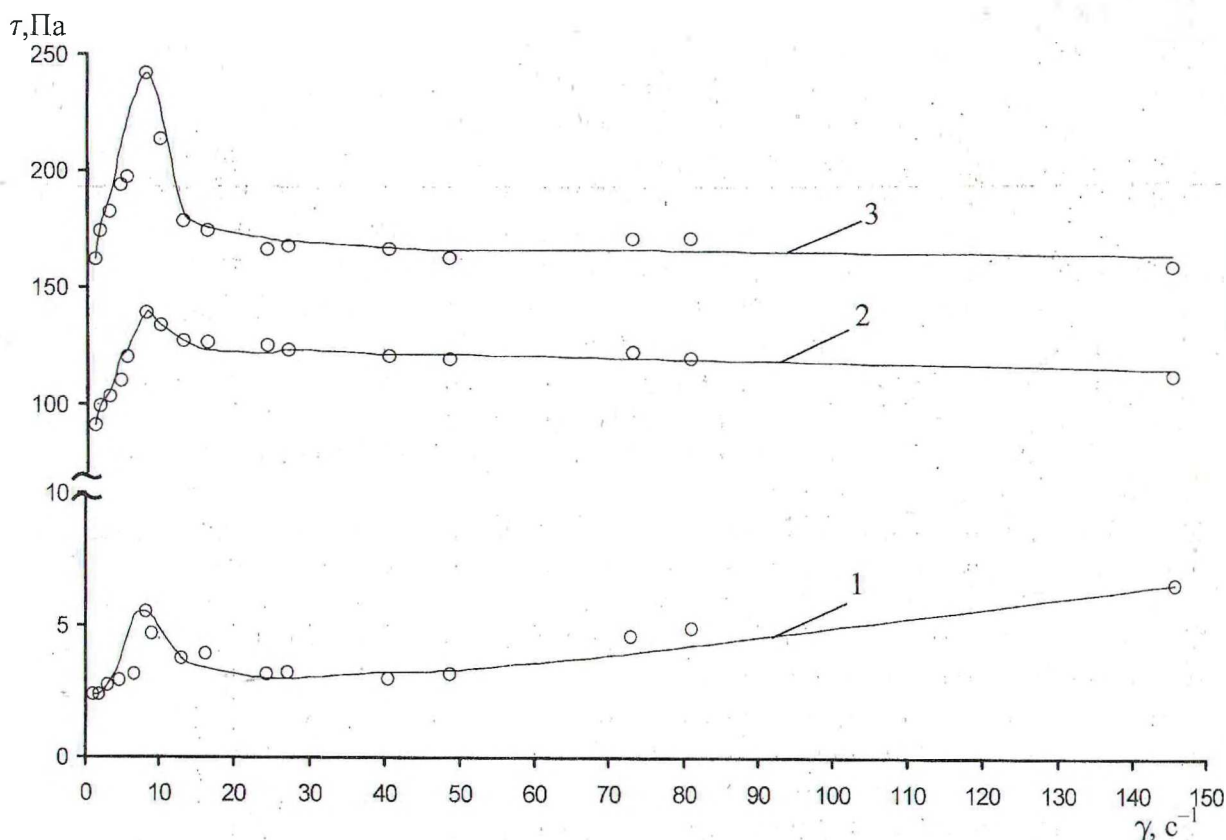


Рис. 1. Реологические кривые течения целлюлозы сульфитной из лиственных пород древесины (без добавок) при концентрации волокнистой суспензии (в %): 1 – 1,0; 2 – 2,0; 3 – 3,0

Как видно из рис. 1 и 2, кривые течения волокнистой суспензии имеют экстремальный характер. В исследуемом диапазоне градиентов скоростей ($\gamma = 0-150 \text{ c}^{-1}$) на реологической кривой наблюдается одна точка перегиба. В начальной стадии движения в суспензии присутствуют крупные флокулы, обладающие высокой прочностью внутренних связей [1]. При нарастании скорости потока флокулы подвергаются постепенно увеличивающемуся воздействию со стороны сил трения, и наступает момент, когда они лавинообразно разрушаются. Этот момент характеризуется резким «провалом»

и аномальной части реологической кривой течения. Наличие максимума объясняется существованием так называемого

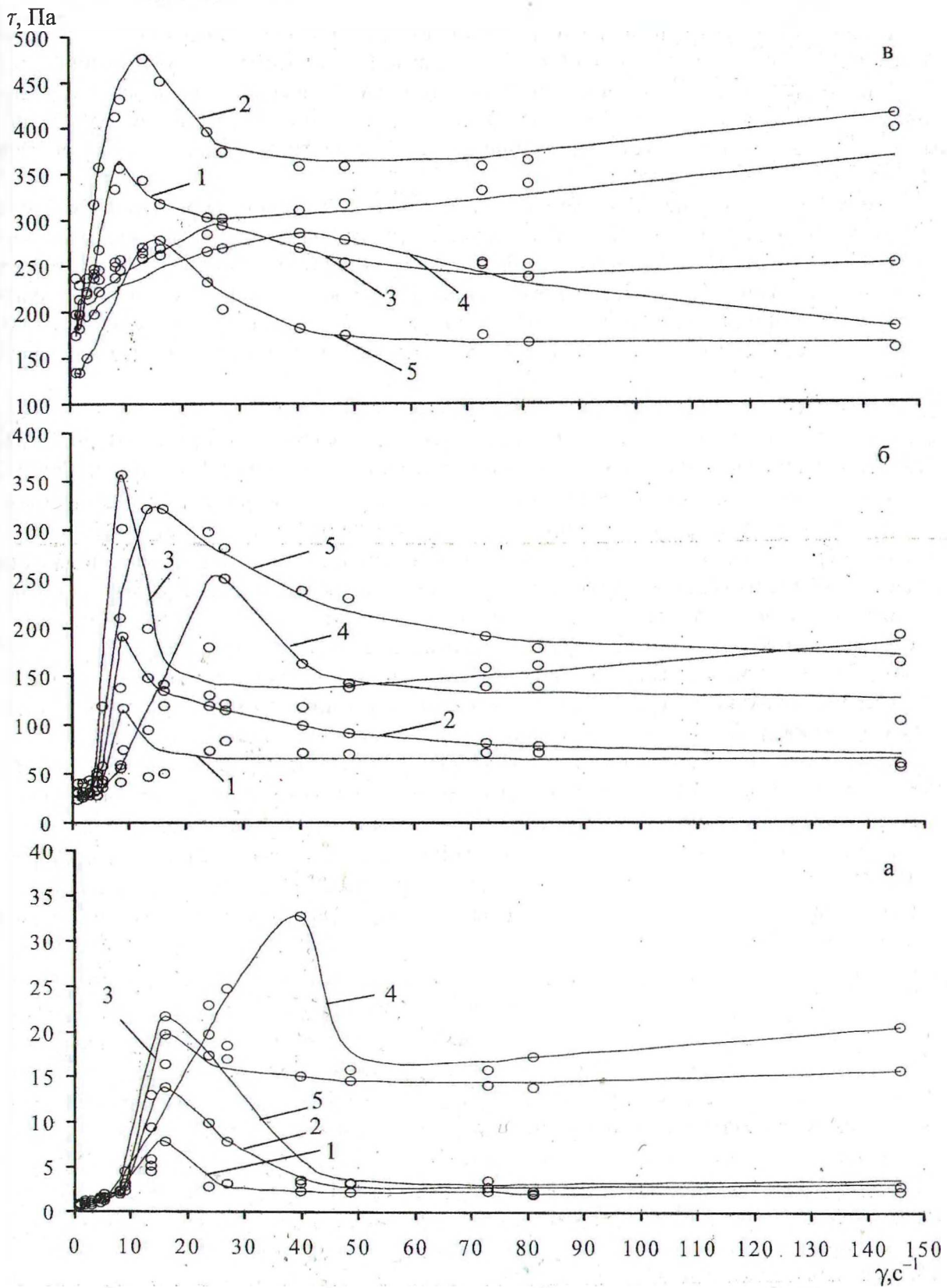


Рис. 2. Реологические кривые течения волокнистой суспензии при расходе ППС (в % от абс. сух. волокна): 1 – 0,05; 2 – 0,10; 3 – 0,15; 4 – 0,20; 5 – 0,25; при концентрации волокнистой суспензии (в %): а – 1,0; б – 2,0; в – 3,0

предельного напряжения сдвига, т. е. напряжения (τ), при котором происходит разрушение структурного каркаса, после чего дисперсная система ведет себя как жидкое тело и может неограниченно деформироваться.

Добавка полиэлектролита ППЭС в 1,0%-ную волокнистую суспензию в количестве от 0,05 до 0,20% от абс. сух. волокна (рис. 2, а, кривые 1–4) способствует увеличению предельного напряжения сдвига и смещению максимума на реологической кривой в сторону увеличения градиента скорости от 16,2 до 40,5 с⁻¹. Это связано с протеканием флокуляционных процессов, что объясняет упрочнение сетчатой структуры волокнистой суспензии в присутствии полиэлектролита.

В момент достижения максимума на реологической кривой волокнистая система оказывает наибольшее возможное сопротивление сдвигающим нагрузкам. По величине максимума можно судить о прочности волокнистой структурированной сетки и степени флокуляции суспензии. Из рис. 2, а (кривая 4) следует, что максимальная степень флокуляции наблюдается при расходе ППЭС 0,20% от абс. сух. волокна, при этом градиент скорости равен $\gamma = 40,8$ с⁻¹. При расходе ППЭС 0,25% от абс. сух. волокна (рис. 2, а, кривая 5) величина предельного напряжения сдвига уменьшается.

Влияние ППЭС на реологическое поведение волокнистой суспензии 2,0%-ной концентрации представлено на рис. 2, б. Увеличение расхода полиэлектролита от 0,05 до 0,15% от абс. сух. волокна способствует увеличению предельного напряжения сдвига при одном и том же значении градиента скорости ($\gamma = 9,0$ с⁻¹). При расходе полиэлектролита 0,20% от абс. сух. волокна максимум на реологической кривой значительно смещается в сторону увеличения нагрузки ($\gamma = 27,0$ с⁻¹) (рис. 2, б, кривая 4), что свидетельствует о повышении прочности сетчатой структуры из волокон. Реологические кривые волокнистой суспензии имеют в начале движения потока явно выраженные аномальные участки, по продолжительности которых можно судить о прочности флокул. Так, увеличение расхода полиэлектролита от 0 до 0,25% от абс. сух. волокна сопровождается увеличением диапазона аномального участка кривой течения волокнистой суспензии. Следовательно, прочность флокул увеличивается, и для их разрушения требуются более высокие значения сдвигающих нагрузок.

Для разрушения волокнистой структуры при концентрации суспензии 3,0% (рис. 2, в) при расходе ППЭС от 0,05 до 0,10% от абс. сух. волокна необходимо большее количество энергии, о чем свидетельствуют более высокие значения касательных напряжений на аномальном участке реологической кривой (рис. 2, в, кривые 1, 2). Повышение расхода ППЭС от 0,15 до 0,20% от абс. сух. волокна вызывает уменьшение предельного напряжения сдвига по величине, однако приводит к значительному смещению максимума напряжения сдвига на реологической кривой до значений градиента скорости $\gamma = 27,0$ с⁻¹. Максимум на реологической кривой становится менее ярко выраженным, что можно объяснить уменьшением полидисперсности суспензии. Структурированная сетка из волокон приобретает дополнительную гибкость и пластичность. При расходе полиэлектролита ППЭС 0,25% от абс. сух. волокна максимум на реологической кривой смещается в сторону уменьшения градиента скорости. Суспензия разрушается при более низких нагрузках. Вероятно, это связано с первоначальной степенью флокуляции и адсорбцией полиэлектролита преимущественно на поверхности крупных флокул.

Полученные реологические кривые волокнистой суспензии в присутствии катионного полиэлектролита в соответствии с теорией Терентьева О.А. [1] можно описать уравнением

$$\tau = A_1 e^{-\alpha_1 \gamma} + A_2 e^{-\alpha_2 \gamma} + A_3 e^{-\alpha_3 \gamma} + \mu_T \gamma, \quad (1)$$

где $\tau_{тр} = A_1 e^{-\alpha_1 \gamma}$ – напряжение первоначального трения (в момент начала движения), Па; $\tau_{пр} = A_2 e^{-\alpha_2 \gamma}$ – напряжение, характеризующее внутреннюю прочность сетчатой

структуры из волокон, Па; $\tau_{\phi} = A_3 e^{-\alpha_3 \gamma}$ – напряжение, характеризующее первоначальную прочность флокул, Па; μ_T – коэффициент динамической вязкости диспергированной суспензии, Па·с; γ – градиент скорости, с^{-1} .

По представлениям Терентьева О.А., реологические кривые волокнистых суспензий концентрацией выше 1% имеют две точки перегиба. Первый максимум соответствует разрушению крупных флокул, а второй – разрушению структурированного слоя (стержня). Однако по данным Терентьева О.А., вторая точка перегиба наблюдается в диапазоне градиентов скоростей 150–300 с^{-1} .

Сравнительный анализ реологических кривых течения волокнистой суспензии концентрацией 1,0, 2,0 и 3,0% с добавками ППЭС показывает, что в присутствии ППЭС происходят значительные изменения сетчатой волокнистой структуры вследствие протекания процессов флокуляции. С увеличением концентрации волокнистой суспензии структурирующая сетка оказывает большее сопротивление сдвигающим нагрузкам, что в условиях технологического процесса приведет к увеличению усилий, затрачиваемых на диспергирование потока для получения равномерного просвета бумажного полотна при отливе на сеточном столе бумагоделательной машины.

Выводы

Реологические кривые течения сульфитной целлюлозы из лиственных пород древесины с добавками катионного полиэлектролита ППЭС в диапазоне градиентов скоростей 0–150 с^{-1} имеют одну точку перегиба. Кривые течения характеризуются наличием предельного напряжения сдвига, при котором происходит разрушение структурного каркаса, после чего волокнистая суспензия переходит в диспергированное состояние и ведет себя как жидкое тело.

Реологические кривые течения волокнистой суспензии с добавками ППЭС имеют в начале движения потока явно выраженный аномальный участок, по которому можно судить о степени флокуляции. Установлено, что максимальный эффект флокуляции для волокнистой суспензии 1%-ной концентрации с добавкой ППЭС наблюдается при расходе полиэлектролита 0,20% от абс. сух. волокна. Критическое значение градиента скорости, при котором волокнистая суспензия переходит в диспергированное состояние, равно 40,5 с^{-1} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Терентьев О.А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 248 с.
2. Солопов Ю.П., Родин В.А., Пузырев С.А., Тотухов Ю.А., Солопова Т.А. Экспериментальное изучение особенностей реологических характеристик сульфатной лиственной целлюлозы // Совершенствование технологии производства полуфабрикатов, бумаги и картона: Сб. трудов. – Л., 1979. – С. 8–11.
3. Бабурин С.В., Изыксон Б.М., Бартенев Г.М., Киприанов А.И. Течение целлюлозной суспензии в области сверханомалии вязкости // Исследования в области технологии бумаги: Сб. трудов ЦНИИБ. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – С. 127–135.
4. Бабурин С.В., Хомичев С.А., Кураш П.А. Использование реограмм волокнистой суспензии для оценки степени ее флокуляции // Исследования процессов производства бумаги: Сб. трудов ЦНИИБ. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – С. 66–72.
5. Терентьев О.А., Тотухов Ю.А., Смирнова Э.А. Реологическая оценка влияния технологических добавок на структурообразование бумажной массы // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 1996. № 1–2. – С. 61–64.

6. Лапин В.В., Капанчан А.Т., Клименко О.И. Проблемы поверхностной модификации дисперсных систем целлюлозно-бумажного производства. Сообщение 2 // Исследования в области физической химии бумаги: Сб. трудов ЦНИИБ. — М.: Лесн. пром-сть, 1981. — С. 5–14.

7. Николаев А.Ф., Охрименко Г.И. Водорастворимые полимеры. — Л.: Химия, 1979. — 146 с.

8. Пат. 2820 РБ, МКИ⁶ D 21H 17/62, D 21H 21/16// С 09J 193/04, С 09F 1/04. Способ получения клеевой композиции для проклейки бумаги и картона /А.И. Ламоткин, А.А. Комаров, Н.В. Черная и др. — № 970468; Заявл. 22.08.97; Оpubл. 31.12.98.

9. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г. Фролова, А.С. Гродского. — М.: Химия, 1986. — 216 с.