

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

РЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ

Rheological estimation of influencing of cationic polyelectrolytes on gelation of filamentary suspension.

Получение высококачественных клееных видов бумаги и картона связано с постоянным совершенствованием процессов и режимов изготовления их на бумаго- и картоноделательных машинах. Формирование прочного бумажного листа с равномерным просветом зависит от множества факторов: композиционного состава бумаги, концентрации волокнистой суспензии и степени ее флокуляции, степени помола и условий напуска массы на сеточный стол бумаго- и картоноделательной машины.

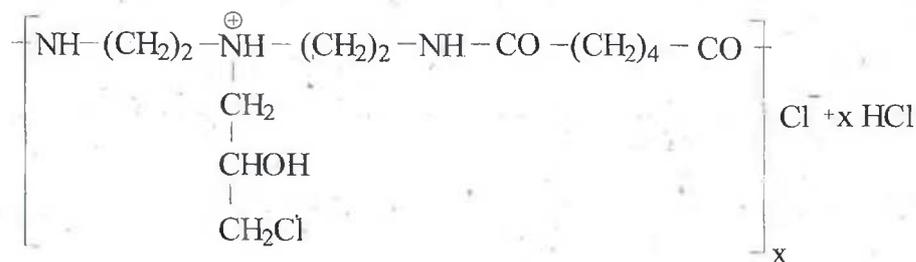
Для управления процессами структурообразования бумажного полотна необходимо знание реологического поведения волокнистой суспензии. В последнее время реологии волокнистых суспензий уделяется большое внимание. Исследования реологического поведения волокнистых суспензий проведены применительно к целлюлозным суспензиям без каких-либо добавок [1–5]. Присутствие в композиции бумаги и картона полиэлектролитов значительно изменяет структуру волокнистой суспензии вследствие интенсивного протекания процессов флокуляции. Немногочисленные сведения в отечественной и зарубежной литературе о реологических особенностях поведения волокнистых суспензий в присутствии полиэлектролитов обуславливает актуальность настоящей работы в научном и практическом аспектах.

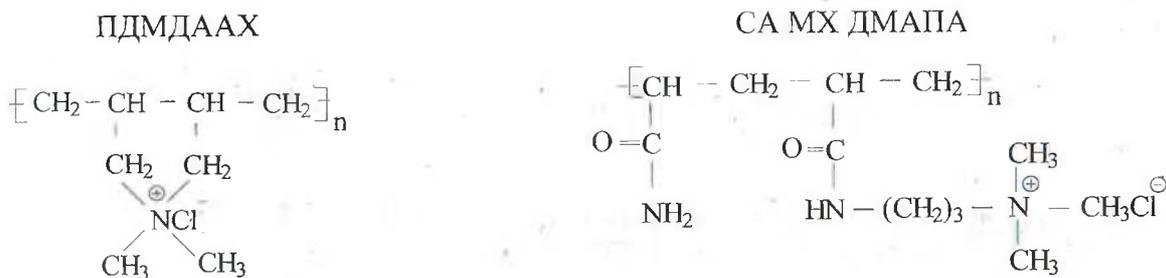
Эффективность процесса флокуляции зависит от природы полимера, его расхода, молекулярной массы и условий введения в технологический поток. Среди катионных полиэлектролитов интерес представляют полиамидполиаминэпихлогидриновая смола (ППЭС), полидиметилдиаллиламмоний хлорид (ПДМДААХ) и сополимер акриламида с метиленхлоридом диметиламинопропилакриламидом (СА МХ ДМАПА) с молекулярной массой 10^4 , $4 \cdot 10^4$ и 10^6 у. е. соответственно.

Цель работы заключалась в исследовании реологического поведения волокнистой суспензии в присутствии катионных полиэлектролитов ППЭС, ПДМДААХ и СА МХ ДМАПА для управления процессами структурообразования перед напуском массы на сеточный стол БДМ.

ППЭС, ПДМДААХ и СА МХ ДМАПА являются основными представителями водорастворимых полимеров катионного типа, структурные формулы которых представлены ниже:

ППЭС





Полиэлектролит ППЭС (ТУ РБ 300041455.021-2001) относится к слабоосновным катионным полимерам. ПДМДААХ (ТУ 2227-184-00203312-98) и СА МХ ДМАПА (ТУ 2216-001-40910172-98) являются представителями сильноосновных полиэлектролитов катионного типа. В качестве объекта исследований использовали проклеенную волокнистую суспензию, состоящую из 100% сульфитной целлюлозы из лиственных пород древесины (ГОСТ 28172-89) со степенью помола $30 \pm 2^\circ \text{ШР}$, в которую последовательно дозировали канифольную эмульсию [6] (расход 1,5% от абс. сух. волокна) и сернокислый алюминий (ГОСТ 3758-75) (расход 2,0% от абс. сух. волокна). Концентрация волокнистой суспензии составляла 1%. Расход полиэлектролитов изменялся в пределах 0–0,25% от абс. сух. волокна. Реологическое поведение волокнистой суспензии изучали при помощи ротационного вискозиметра «Реотест-2» [7]. Принцип работы вискозиметра основан на регистрации скорости вращения подвижного цилиндра (внутреннего), пропорциональной скорости деформации исследуемой системы.

Экспериментальная часть

Реологические характеристики сульфитной целлюлозы из лиственных пород древесины в присутствии катионных полиэлектролитов представлены на рис. 1–3. На реологических кривых течения волокнистой суспензии с добавками катионных полиэлектролитов в начальной стадии движения наблюдается рост напряжения сдвига (τ), а затем резкое его падение при одновременном росте скорости сдвига ($\dot{\gamma}$). Это явление получило название аномалии вязкости. В исследуемом диапазоне скоростей (0–150 с^{-1}) на реологических кривых наблюдается одна точка перегиба, характеризующая момент начала разрушения волокнистого структурного каркаса.

Как видно из рис. 1, увеличение расхода ППЭС от 0 до 0,20% от абс. сух. волокна способствует увеличению предельного напряжения сдвига и смещению максимума на реологической кривой в сторону увеличения градиента скорости от 16,2 до 40,5 с^{-1} (рис. 1, кривые 1–5). Это объясняется наличием добавочных внутренних напряжений, вызванных образованием в массе крупных прочных флокулов в присутствии полиэлектролита. О степени флокуляции волокнистой суспензии и прочности волокнистой структурированной сетки можно судить по величине максимума на реологической кривой течения. Максимальное сопротивление сдвигающим нагрузкам волокнистая суспензия оказывает при расходе ППЭС 0,20% от абс. сух. волокна. Следовательно, введение ППЭС в массу в количестве 0,20% от абс. сух. волокна вызывает максимальную флокуляцию волокнистой суспензии и способствует упрочнению волокнистой структуры. При этом градиент скорости равен $\dot{\gamma} = 40,5 \text{ с}^{-1}$. При расходе ППЭС 0,25% от абс. сух. волокна (рис. 1, кривая 6) значение предельного напряжения сдвига уменьшается от 32,7 до 21,6 Па. При этом градиент скорости уменьшается от 40,5 до 16,2 с^{-1} .

Анализ реологических кривых течения волокнистой суспензии с добавками ППЭС и ПДМДААХ показывает, что в присутствии ППЭС эффект флокуляции выражен более ярко. В присутствии ПДМДААХ в волокнистой суспензии (рис. 2) при расходах полиэлектролита 0,05–0,20% от абс. сух. волокна наблюдается изменение предельного напряжения сдвига. Однако величина напряжения сдвига ниже, чем в присутствии ППЭС, и изменяется в пределах 8,8–10,4 Па.

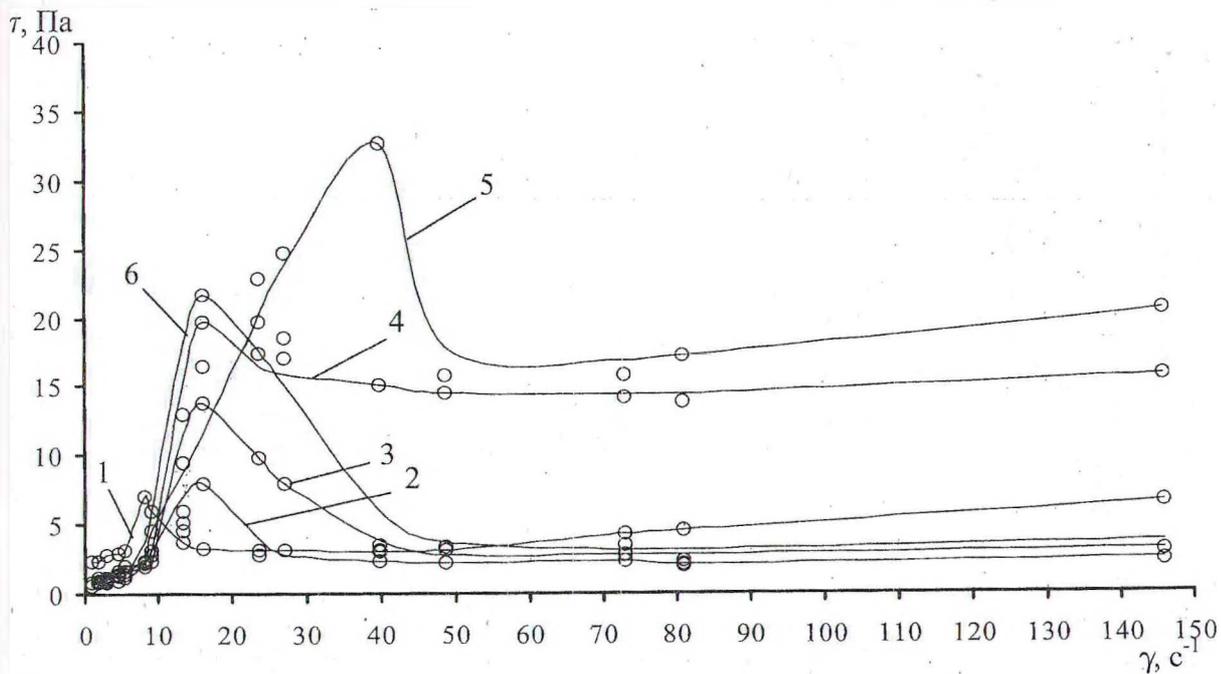


Рис. 1. Реологические кривые течения проклеенной волокнистой суспензии в присутствии ППЭС при расходах (в % от абс. сух. волокна):
 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,10; 4 – 0,15; 5 – 0,20; 6 – 0,25

Для волокнистой суспензии с добавками СА МХ ДМАПА характерно резкое увеличение предельного напряжения сдвига при расходе полимера 0,05% от абс. сух. волокна (рис. 3, кривая 2). Увеличение его расхода приводит к уменьшению предельного напряжения сдвига. При максимальной флокуляции волокнистая суспензия оказывает наибольшее сопротивление сдвигающим нагрузкам. Следовательно, наибольший эффект флокуляции наблюдается при расходе СА МХ ДМАПА 0,05% от абс. сух. волокна, при этом значение градиента скорости равно $16,2 \text{ с}^{-1}$.

Сравнительный анализ реологических кривых течения волокнистой суспензии в присутствии катионных полиэлектролитов (рис. 1–3) показал, что максимальный эффект флокуляции в присутствии СА МХ ДМАПА с ММ 10^6 у. е. наблюдается при меньшем расходе полимера, чем в случае использования ППЭС с ММ 10^4 у. е. При этом необходимо отметить, что в присутствии СА МХ ДМАПА при расходе 0,05% от абс. сух. волокна волокнистая суспензия разрушается при меньших значениях градиентов скоростей, чем суспензия с добавкой ППЭС при расходе 0,20% от абс. сух. волокна ($\dot{\gamma}=16,2 \text{ с}^{-1}$ и $\dot{\gamma}=40,5 \text{ с}^{-1}$ соответственно). Вероятно, это также связано с размером образующихся флокулов. Флокулы, образовавшиеся в присутствии СА МХ ДМАПА, разрушаются значительно легче. Это необходимо учитывать при выборе места дозирования полиэлектролита в композицию волокнистой суспензии.

Описать характер движения волокнистой суспензии в присутствии катионных полиэлектролитов возможно на основе представлений О.А. Терентьева [1]. При движении волокнистой суспензии в зависимости от скорости наблюдается два вида потока: структурированный и диспергированный (рис. 4). При малых скоростях движения сначала переплетенные волокна образуют структурированный слой (стержень), который движется внутри потока. Структурированный слой сохраняется за счет сил сцепления между волокнами, образуя упругую структуру определенной прочности. Однако с увеличением скорости движения (градиента сдвига) увеличиваются касательные силы трения на поверхности стержня, который под их действием начинает разрушаться и терять свою прочность в результате сдвига между волокнами.

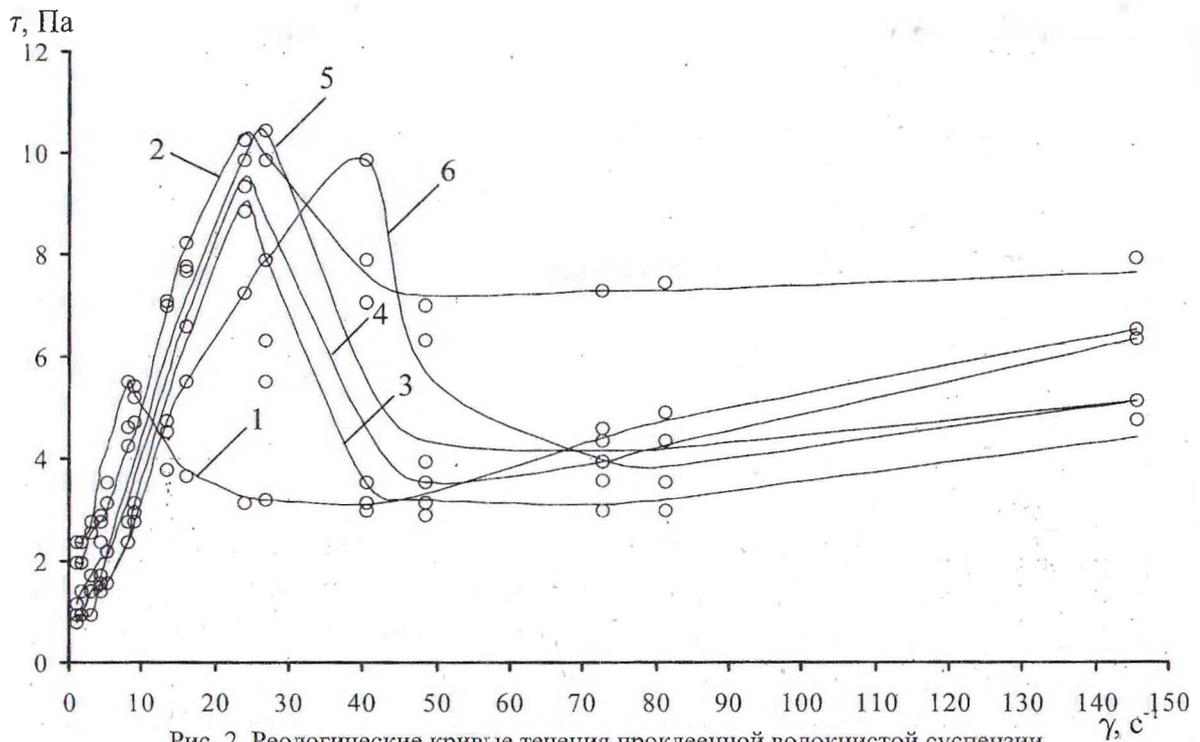


Рис. 2. Реологические кривые течения проклеенной волокнистой суспензии в присутствии ПДМДААХ при расходах (в % от абс. сух. волокна): 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,10; 4 – 0,15; 5 – 0,20; 6 – 0,25

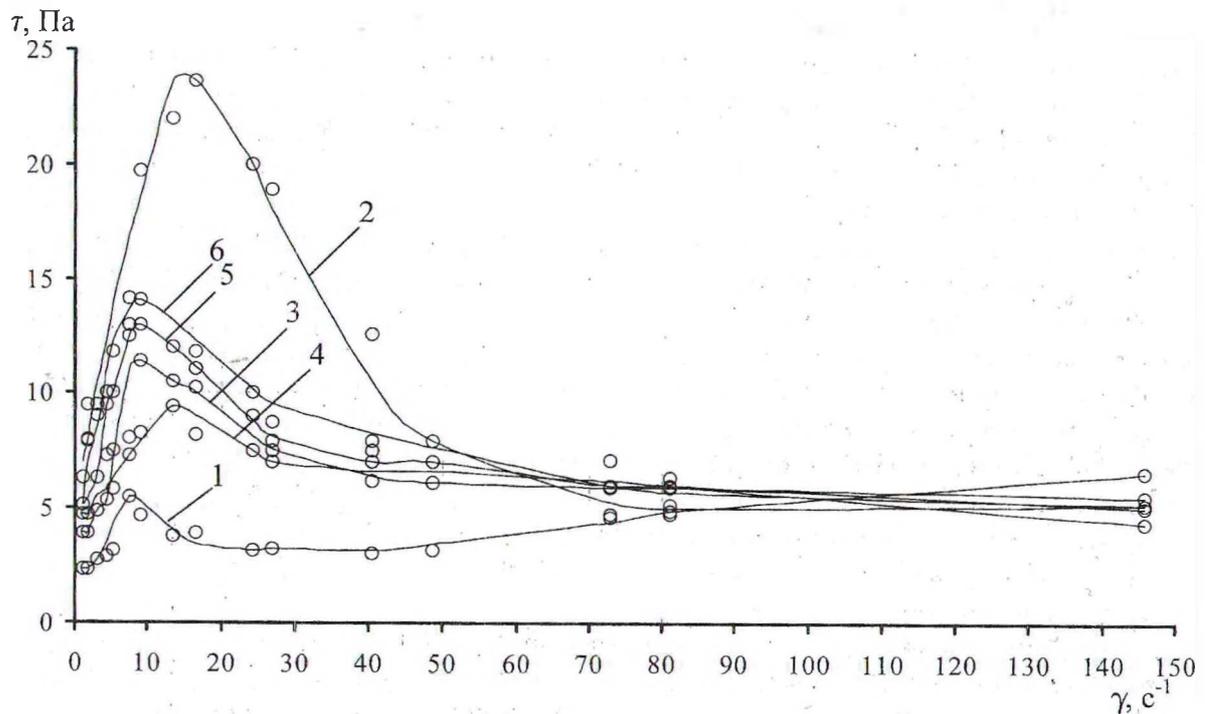


Рис. 3. Реологические кривые течения проклеенной волокнистой суспензии в присутствии СА МХ ДМАПА при расходах (в % от абс. сух. волокна): 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,10; 4 – 0,15; 5 – 0,20; 6 – 0,25

В первой стадии структурированного потока (скорость V_1) наружные волокна стержня скользят по стенкам, а с увеличением скорости – по слою чистой воды, при этом нарастает напряжение трения, но оно еще недостаточно, чтобы вырвать волокна из стержня. Стержень

претерпевает деформацию, внутренние связи между волокнами слабеют, и уменьшается его прочность. Таким образом, на первой стадии в структурированном потоке одновременно происходят два процесса: увеличение сил трения и уменьшение прочности стержня.

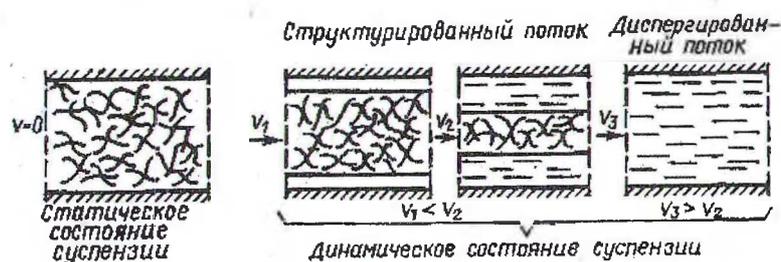


Рис. 4. Динамика изменения структуры волокнистой суспензии в процессе развития движения

На второй стадии (скорость V_2) структурированного потока волокна под действием напряжения трения вырываются из стержня и диспергируются в слое чистой воды. Диспергированные волокна ориентируются по потоку. При достижении скорости V_3 стержень разрушается полностью, и поток становится диспергированным.

Полученные результаты по исследованию реологических характеристик волокнистой суспензии позволяют охарактеризовать степень диспергированности волокнистого материала в потоке и тем самым определять наиболее эффективные режимы течения волокнистой суспензии при отливе бумажного полона. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования конструкций напорных ящиков.

Выводы

Реологические кривые течения сульфитной целлюлозы из лиственных пород древесины с добавками катионных полиэлектролитов имеют в начале движения потока явно выраженный аномальный участок, по которому можно судить о степени флокуляции и прочности флокул.

Установлено, что максимальный эффект флокуляции для волокнистой суспензии 1%-ной концентрации с добавками ППЭС, ПДМДААХ и СА МХ ДМАПА наблюдается при расходах соответственно 0,2; 0,15 и 0,05%. При этом критическое значение градиента скорости, при котором волокнистая суспензия переходит в диспергированное состояние, соответственно равно 40,5; 24,8 и 16,2 с^{-1} . Из этого следует, что наиболее прочные флокулы образуются при добавках ППЭС. В присутствии СА МХ ДМАПА структурированная сетка обладает меньшей прочностью и, как следствие, большей чувствительностью к сдвигающим нагрузкам. Это необходимо учитывать при выборе места дозирования данного полимера, так как большие сдвиговые усилия могут повлечь за собой снижение эффекта флокуляции за счет разрушения первоначальной структуры и перераспределения волокна в массе.

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., Ершов А.В., Изыксон Б.М., Хойемян Е.А., Малышева Л.В. Особенности поведения суспензий при напуске бумажной массы на сетку бумагоделательной машины //

Исследования в области технологии бумаги: Сб. трудов ЦНИИБ. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – С. 86–95.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

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