

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ НА СВОЙСТВА БУМАГИ

Clause is devoted to studying of features of structurization of the glued fibrous suspension at presence of cationic polyelectrolytes. At research properties of fibrous suspension in a mode of increase and downturn of speed of shift it has been received, that presence at a composition of a paper cationic polyelectrolit leads to increase of durability of fibrous structure and a paper. Obtained data can be used at perfection old and designing of new designs of affected devices.

Введение. Физико-механические свойства бумажного полотна в значительной степени определяются свойствами исходной коагуляционной структуры волокнистой суспензии, состояние которой характеризуется способностью волокон к агрегации. Прочность бумаги зависит от прочности как индивидуальных волокон, так и межволоконных сил связей. В процессе подготовки волокнистой суспензии большое влияние на качество бумаги оказывает диспергирование волокна в потоке перед напуском на сеточный стол бумагоделательной машины. Бумага, полученная из плохо диспергированной волокнистой суспензии, имеет неоднородную структуру, о чем свидетельствует ее неравномерный просвет. Снижение разрывной длины бумаги с неравномерным просветом обусловлено низкой прочностью наиболее слабых сечений структуры бумажного полотна [1–3].

Формование бумажного полотна на бумагоделательной машине можно рассматривать как процесс непрерывного структурообразования в волокнистых системах. Структурированные системы обычно разделяют на два типа: коагуляционные (тиксотропно-обратимые со слабыми структурными связями) и коллоидные конденсационно-кристаллизационные (необратимо разрушаемые) [4, 5]. К первому типу относится волокнистая суспензия, ко второму типу структур относится бумага, прочностные свойства которой не восстанавливаются самопроизвольно после разрушения.

Получение прочного бумажного листа возможно при равномерном распределении волокон в потоке и наличии максимального числа коагуляционных контактов между ними. В зависимости от скорости сдвига в волокнистой суспензии флоккулы могут разрушаться и образовываться. Поэтому основным требованием к работе оборудования, стоящего перед сеточной частью бумагоделательной машины, является обеспечение однородности бумажной массы и исключение неблагоприятных воздействий, вызывающих неоднородности. Для этой цели используются различные технологические приемы и аппаратура

(например, ступенчатые диффузоры, потокораспределители с трубками переменного сечения и др.), которые в любом случае предполагают уменьшение флокул до размеров, обеспечивающих приемлемую структурную однородность бумажного листа. Особое внимание при этом уделяется работе напорного ящика.

Для устранения ориентированности волокон и снижения пульсаций давления в напорном ящике служит уравнивательная камера, в которой происходит резкое понижение скорости после, например, ступенчатых диффузоров и тем самым создается дезориентация волокон. Кроме того, при изготовлении высококачественных клееных видов бумаги в нейтральной среде в присутствии катионных полиэлектролитов при диспергировании волокнистой суспензии может быть снижена эффективность действия последних вследствие разрушения крупных флокул и перераспределения коагуляционных контактов в момент выхода массы на сеточный стол бумагоделательной машины. Изучение влияния этих факторов возможно на основе реологических свойств волокнистой суспензии.

Основная часть. Возможность диспергирования бумажной массы в напускном устройстве обеспечивается тиксотропными характеристиками целлюлозных волокнистых систем. Способы диспергирования и уровень диспергирующей нагрузки непосредственно связаны с интенсивностью структурообразования, степенью флокуляции и прочностью волокнистых структур. Постоянство скорости выходящей из напускного устройства струи достигается соответствующими конструктивными решениями по потокораспределителю и напускному устройству, принимаемыми на основании данных реологических исследований. Однако необходимо также учитывать не только скорость сдвига, но и соотношение времени релаксации и времени воздействия касательных напряжений сдвига. Чем ближе по своему реологическому поведению волокнистая масса к ньютоновскому, тем благоприятнее происходит ее напуск и отлив с позиций листообразования.

Образование коагуляционных контактов при обезвоживании волокнистой суспензии на сеточном столе бумагоделательной маши-

ны возможно лишь в пределах «зеркала залива», где волокнистая суспензия представляет собой сплошную текучую волокнистую структуру. Варьирование предела текучести в этих условиях осуществляется как диспергированием волокон путем механического воздействия, так и введением в композицию бумаги различных добавок [3, 6–8]. В качестве добавок при производстве клееных видов бумаги используются проклеивающие вещества, коагулянты и катионные полиэлектролиты. Последние оказывают существенное влияние на процесс структурообразования волокнистой суспензии.

Анализ движения волокнистой суспензии в различных сечениях напорного ящика показывает, что происходит постоянное повышение или понижение скорости потока. Поэтому представляет научный и практический интерес определение реологических свойств проклеенной волокнистой суспензии, содержащей катионные полиэлектролиты, в условиях повышения и понижения скорости сдвига, с целью управления процессами структурообразования [1, 2, 6].

На ротационном вискозиметре были получены реологические кривые течения волокнистой суспензии, содержащей проклеивающее вещество, коагулянт и катионный полиэлектролит ВПК-402 (полидиметилдиаллиламмоний хлорид), при повышении и понижении скорости сдвига. Расход проклеивающего вещества составлял 1,5% от а. с. в., коагулянта – 2,0% от а. с. в. Расход полиэлектролита ($R_{ПЭК}$) изменяли от 0 до 0,25% от а. с. в. Исследование волокнистой суспензии осуществлялось при концентрации 1%, средневзвешенная длина волокна и степень помола соответственно составляли 1,3 мм и 32°ШР.

Полученные результаты представлены на рисунке.

Как видно из рисунка, реологические кривые, полученные при повышении и понижении скорости сдвига, имеют экстремальный характер, обусловленный тиксотропными свойствами исследуемой проклеенной волокнистой суспензии, относящейся к структурам коагуляционного типа.

При диспергировании волокнистой суспензии возможно снижение эффективности действия катионного полиэлектролита как флокулянта, поскольку первоначально идет его адсорбция преимущественно на поверхности мелких волокон, а затем уже адсорбция мелочи на поверхности крупных флокул. Это отражается на реологических свойствах волокнистой суспензии при снятии реологической кривой в режиме понижения скорости сдвига.

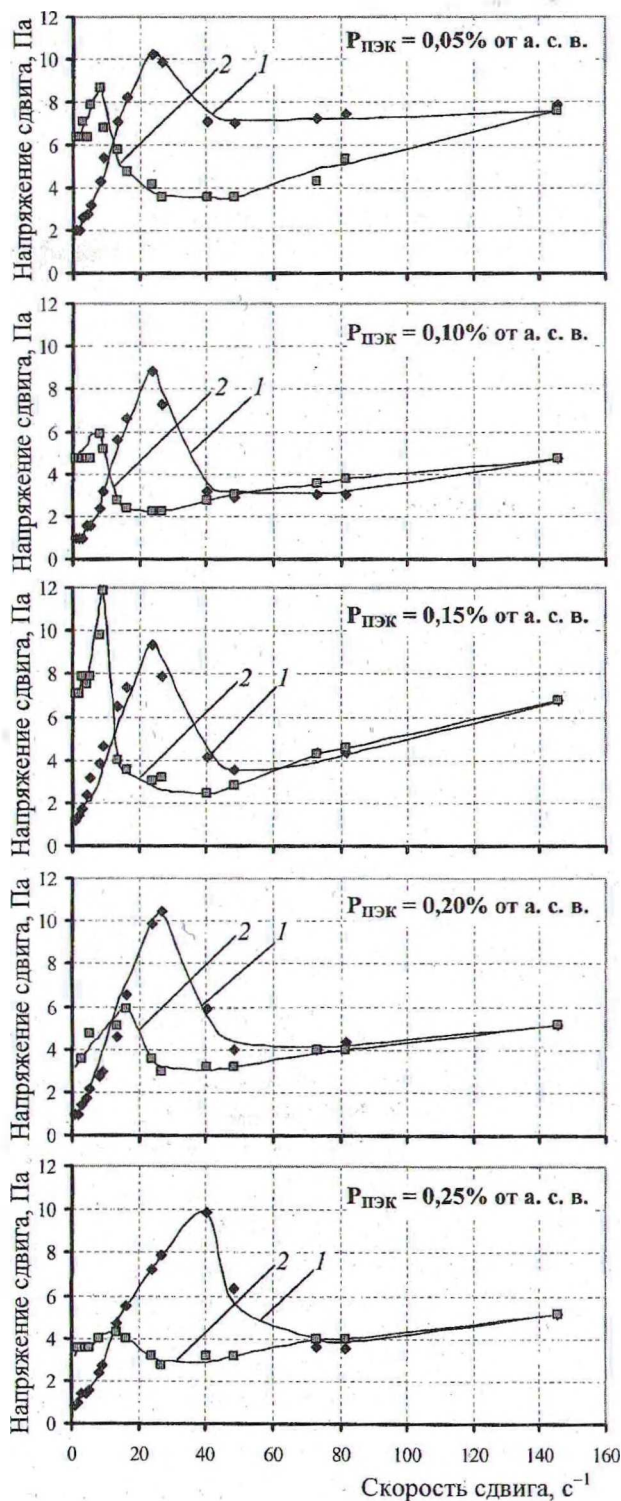


Рисунок. Реологические свойства проклеенной волокнистой суспензии в зависимости от расхода катионного полиэлектролита:
1 – при повышении скорости сдвига;
2 – при понижении скорости сдвига

Как видно из рисунка, при расходах катионного полиэлектролита от 0 до 0,10% от а. с. в. реологическая кривая, полученная в режиме понижения скорости сдвига, располагается ниже реологической кривой, снятой в режиме повышения скорости сдвига.

При этом характер кривых сохраняется, однако величина предельного напряжения сдвига уменьшается, а максимальное значение наблюдается при меньших скоростях сдвига. Это свидетельствует о медленном протекании процесса тиксотропного восстановления структуры, т. е. при снятии реологической кривой в режиме понижения скорости сдвига часть уже разрушенной структуры не восстанавливается.

При расходе полиэлектrolита 0,15% от а. с. в. при получении обратной реологической кривой наблюдается увеличение предельного напряжения сдвига относительно прямой реологической кривой. Это свидетельствует о том, что при таком расходе полиэлектrolита при понижении скорости сдвига волокнистая суспензия обладает более высокой скоростью тиксотропного восстановления, что приводит к упрочнению структуры и более быстрому образованию дополнительных контактов между волокнами за счет электростатического взаимодействия.

При дальнейшем увеличении расхода полиэлектrolита от 0,20 до 0,25% от а. с. в. наблюдается обратный эффект, так как при снятии реологической кривой в режиме понижения скорости сдвига предельное напряжение сдвига уменьшается и кривая располагается ниже кривой, полученной в режиме повышения скорости сдвига.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что при использовании катионного полиэлектrolита 0,15% от а. с. в. волокнистая суспензия характеризуется максимальной прочностью. Получено, что при понижении скорости сдвига происходит образование более прочной структуры. Это должно привести к образованию дополнительных коагуляционных контактов при отливе бумажного полотна на сеточном столе бумагоделательной машины.

Важно отметить, что скорость тиксотропного восстановления волокнистой структуры при использовании в композиции бумаги полиэлектrolита ВПК-402 несколько ниже, чем в присутствии Водамина 115 [9]. Это отражается в смещении максимума на обратной реологической кривой в сторону уменьшения скорости

сдвига. На основании этого можно рекомендовать дозирование ВПК-402 ближе к сеточной части бумагоделательной машины, чем Водамин 115.

По величине максимума на реологической кривой течения можно судить о степени флокуляции волокнистой суспензии и прочности волокнистой структурированной сетки. Сопоставительный анализ данных, представленных на рисунке, показывает, что наибольшая степень флокуляции наблюдается также при расходе полиэлектrolита 0,15% от а. с. в.

Для подтверждения этого были получены кинетические кривые седиментации волокнистой суспензии в зависимости от расхода катионного полиэлектrolита, на основании которых по методу Н. Н. Цюрупы [10] рассчитаны минимальный ($r_{\text{мин}}$, мм), наивероятнейший ($r_{\text{н}}$, мм) и максимальный ($r_{\text{макс}}$, мм) радиусы флокул (табл. 1) и построены интегральные и дифференциальные кривые распределения флокул по размерам.

Очевидно, что в волокнистой суспензии наряду с достаточно крупными флокулами присутствуют мелкие волокна. Анализ интегральных и дифференциальных кривых распределения флокул волокнистой суспензии по размерам свидетельствует о повышении степени полидисперсности системы в присутствии катионного полиэлектrolита ВПК-402, определяемой отношением максимального радиуса флокул к минимальному. Максимальная степень полидисперсности наблюдается при расходе полиэлектrolита 0,15% от а. с. в., т. е. при максимальной степени флокуляции волокнистой суспензии, что подтверждает результаты реологических исследований.

Установлено, что без добавок полиэлектrolитов в волокнистой суспензии большинство флокул имеет радиус 0,26 мм (табл. 1). При введении в волокнистую суспензию полиэлектrolита в количестве от 0 до 0,15 % от а. с. в. радиус флокул, присутствующих в суспензии в максимальном количестве, увеличивается от 0,26 до 0,29 мм. При этом на основании интегральных и дифференциальных кривых можно утверждать, что с увеличением размеров флокул их количество уменьшается.

Таблица 1

Влияние катионного полиэлектrolита на степень флокуляции волокнистой суспензии

Расход полиэлектrolита, % от а. с. в.	$r_{\text{мин}}$, мм	$r_{\text{н}}$, мм	$r_{\text{макс}}$, мм	Степень полидисперсности
0	0,17	0,26	1,77	10,4
0,05	0,18	0,18	1,23	6,8
0,10	0,18	0,21	1,38	7,7
0,15	0,18	0,29	1,93	10,7
0,20	0,18	0,28	1,90	10,6
0,25	0,18	0,27	1,84	10,2

Влияние катионного полиэлектролита на физико-механические свойства бумаги

Расход полиэлектролита, % от а. с. в.	Разрывная длина, м	Поглощение энергии при разрыве, Дж/м ²	Жесткость при разрыве, кН/м	Модуль Юнга, ГПа
0	4120	12,5	520,7	5,21
0,05	5370	23,1	539,7	5,40
0,10	5460	24,2	594,0	5,94
0,15	5850	26,7	602,7	5,03
0,20	5550	22,5	587,6	6,88
0,25	5320	21,2	585,9	5,86

При увеличении расхода этого полиэлектролита от 0,15 до 0,25% от а. с. в. размер флокулов практически не изменяется, однако количество флокул с таким размером возрастает.

Для установления влияния расхода полиэлектролита на прочностные свойства бумаги при таких расходах катионного полиэлектролита были получены образцы бумаги и определены их физико-механические показатели (табл. 2).

Из полученных данных видно, что при повышении прочности волокнистой суспензии повышается прочность бумаги. Наибольшей разрывной длиной, поглощением энергии при разрыве, а также жесткостью при разрыве и модулем Юнга характеризуются образцы бумаги, полученные при расходе катионного полиэлектролита 0,15% от а. с. в., т. е. при котором волокнистая суспензия характеризуется наибольшей прочностью, степенью флокуляции и скоростью процессов тиксотропного восстановления.

Заключение. Таким образом, процессы структурообразования в волокнистых суспензиях имеют сложную природу и в основном определяют качество и свойства формируемого бумажного полотна. При разработке способов управления процессами структурообразования в волокнистых суспензиях с целью получения оптимальной структуры бумажного листа следует учитывать всю совокупность значимых факторов, влияющих на состояние структуры суспензии, в их взаимодействии.

При исследовании реологических свойств волокнистой суспензии в режиме повышения и понижения скорости сдвига установлено, что применение в композиции бумаги катионного полиэлектролита ВПК-402 в количестве 0,15% от а. с. в. приводит к повышению прочности волокнистой структуры и бумаги. Полученные данные могут быть использованы при совершенствовании старых и проектировании новых конструкций оборудования для подготовки волокнистой суспензии и напускных устройств.

Литература

1. Терентьев, О. А. Массоподача и равномерность бумажного полотна / О. А. Терентьев. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 264 с.
2. Терентьев, О. А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве / О. А. Терентьев. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 248 с.
3. Рейзиньш, Р. Е. Структурообразование в суспензиях целлюлозных волокон / Р. Е. Рейзиньш. – Рига: Зинатне, 1987. – 208 с.
4. Бабурин, С. В. Реологические основы процессов целлюлозно-бумажного производства / С. В. Бабурин, А. И. Киприанов. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 192 с.
5. Терентьев, О. А. Реологическая оценка влияния технологических добавок на структурообразование бумажной массы / О. А. Терентьев, Ю. А. Тотухов, Э. А. Смирнова // Известия ВУЗов: Лесной журнал. – 1996. – № 1–2. – С. 61–64.
6. Смолин, А. С. Технология формования бумаги и картона / А. С. Смолин, Г. З. Аксельрод. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 120 с.
7. Исследование тиксотропно-реопектических свойств бумажной массы / О. А. Терентьев [и др.] // Химия древесины. – 1992. – № 1. – С. 57–63.
8. Агеев, А. Я. Влияние продолжительности наблюдения на величину напряжений в волокнистых суспензиях / А. Я. Агеев // Известия ВУЗов: Лесной журнал. – 1996. – № 1–2. – С. 56–60.
9. Жолнерович, Н. В. Особенности структурообразования волокнистой суспензии в присутствии катионных полиэлектролитов / Н. В. Жолнерович, Н. В. Черная // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орган. в-в. – 2005. – Вып. XIII. – С. 170–172.
10. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / под ред. Ю. Г. Фролова, А. С. Гродского. – М.: Химия, 1986. – 216 с.