

ние, при котором начинается линейный характер течения волокнистых суспензий.

На рис. 2 (кривая 1) представлена зависимость $\tau_{кр}$ от C_k . Ее аппроксимация полиномом 4-й степени при коэффициенте погрешности интерполяции, равном $4,94951 \cdot 10^{-2}$, позволила определить концентрацию каолина, при которой происходит изменение качественного вида реологической характеристики, а именно $C_k = 7,2 \%$. Этому значению соответствует $\tau_{кр} = 7,5$ Па.

Кривая 2 характеризует зависимость начального напряжения сдвига τ_0 от C_k . При $C_k = 0 \dots 5 \%$ τ_0 практически постоянно, дальнейшее увеличение C_k приводит к падению τ_0 . Такой вид зависимости τ_0 от C_k обуславливается, по-видимому, тем, что влияние волокон в суспензии неоднозначно.

Если на начальном участке кривой (до 5 % каолина) определяющим является взаимодействие между волокнами, а каолин слабо влияет на структуру в момент ее страгивания, то падение τ_0 на последующем участке кривой (свыше 5 %) свидетельствует о том, что увеличение количественного содержания каолина приводит к обволакиванию волокон каолином и снижению коэффициента трения между ними, а также сцепления структуры со стенками вискозиметра. Таким образом, величина напряжения сдвига, необходимая для начала движения наполненной волокнистой суспензии, может в данном случае выступать не только как показатель прочности первоначальной структуры, но и как показатель взаимодействия фаз в суспензии.

Итак, полученные реологические характеристики суспензии с пониженным содержанием воды (концентрация по волокну 2 %) и различным содержанием каолина убедительно доказывают влияние каолина на характер течения наполненных волокнистых суспензий. При концентрации каолина 5,0...7,5 % структура обладает наименьшей прочностью, а это значит, что для диспергирования ее (например, в массоподводящем и напускном оборудовании) требуется минимум энергетических затрат.

Поступила 2 апреля 1993 г.

УДК 543.42 : 661.728

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КАК СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Б. Н. ФИЛАТОВ, И. Н. ПАВЛОВА, Ю. В. ХРАМОВ, О. В. ЦВЕТКОВ,
С. В. АЛЕЙНИК, В. Ф. ПРЕМИНИН, А. А. ВДОВИН

С.-Петербургская лесотехническая академия
НИИЦмаш

Перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности в значительной степени связаны с повышением концентрации обрабатываемой волокнистой суспензии на всех стадиях технологического процесса производства целлюлозы и бумаги. Некоторые процессы (гидротранспорт, промывка и отбелка целлюлозы) уже осуществляются при средней (8...15 %) и более высокой концентрации, другие (сортирование, очистка, перемешивание) внедряются в производство. Такая технология позволяет добиться резкого сокращения размеров оборудования и производственных площадей, в значительной степени уменьшить объем сточных вод и затраты электроэнергии.

Для развития и внедрения технологии высоких концентраций, расчета и конструирования оборудования необходимы данные об особенностях поведения высококонцентрированных волокнистых суспензий при гидромеханической, тепловой или химической обработке, а также средства и методы контроля параметров процесса и самой продукции.

Для получения характеристик волокнистых суспензий (скорость потока, концентрация массы, белизна) на предприятиях ЦБП используют низкоинерционные и высокочувствительные оптические датчики. Однако обработка данных вызывает затруднения, обусловленные сложностью поведения целлюлозных суспензий. В связи с этим исследования по разработке методов анализа подобного рода информации являются актуальными и представляют практический интерес.

В данной работе предпринята попытка использовать оптический метод для исследования гидродинамического поведения волокнистых суспензий средней концентрации и измерения скорости их движения. Выбор метода, с одной стороны, обусловлен трудностью измерения скорости движения таких суспензий традиционными методами и приборами, с другой — присущими ему достоинствами (высокая чувствительность и точность, бесконтактность, малая инерционность, возможность быстрого анализа и обработки полученных данных на ЭВМ).

Экспериментальные исследования выполнены на трубном стенде опытно-экспериментальной базы НИИЦмаш (г. Кондопога), принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Работа на стенде осуществляется по замкнутой схеме. Из бассейна 5 целлюлозная суспензия центробежным насосом 6, снабженным системой удаления воздуха, прокачивается через измерительный трубопровод 2 и снова попадает в бассейн. На трубопроводе установлены манометры с чувствительными датчиками, измеряющие потери давления в различных его точках: на прямом участке, в колене и диффузорах [10, 12]. Оптический датчик 3 находится на прямом участке трубопровода.

Исследовали суспензию сульфитной небеленой целлюлозы массовой концентрацией 10...12%. Скорость движения суспензии по трубопроводу диаметром 150 мм регулировали путем изменения частоты вращения рабочего колеса насоса. Расход и, соответственно, скорость движения рассчитывали, зная частоту вращения рабочего колеса. В качестве дополнительного контрольного метода использовали обычный объемно-весовой с измерением расхода массы за единицу времени. Концентрацию массы изменяли, разбавляя ее в бассейне.

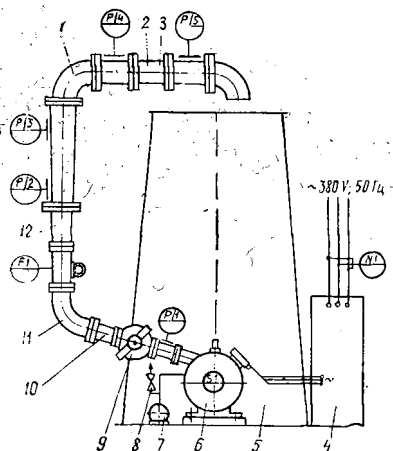


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 — отвод под углом 90°; 2 — измерительный трубопровод; 3 — оптический датчик; 4 — электропривод регулируемый; 5 — бассейн; 6 — насос; 7 — вакуум-насос; 8 — регулятор вакуума; 9 — клапан шаровой; 10, 12 — диффузоры; 11 — отвод

Информацию с оптического датчика собирали с помощью блока сбора параметрической информации, который входит в многоканальную систему сбора и регистрации параметрической информации. Блок включает следующие основные модули: входной усилитель, аналого-цифровой преобразователь, преобразователь кода и кассетный накопитель. Погрешность преобразования $\pm 5\%$. Скорость записи 128 слов в секунду.

Параллельно аналоговую информацию с оптического датчика записывали на запоминающее устройство — магнитограф Н067. Данные оцифровывали с частотой 128 Гц при помощи модуля ввода аналоговых сигналов 32AD10-30 и обрабатывали на ЭВМ IBM PC AT 386.

Необходимо отметить, что в данном случае, изучая течение концентрированных волоконистых суспензий, мы не рассматривали и не оперировали такими традиционными для гидродинамики понятиями, как режим движения, профиль скорости, толщина пристенного слоя, вязкость и т. д., а использовали в качестве основной информации спектральные характеристики, снятые при различных скоростях движения W и концентрациях C суспензии. Для полученных экспериментальных дан-

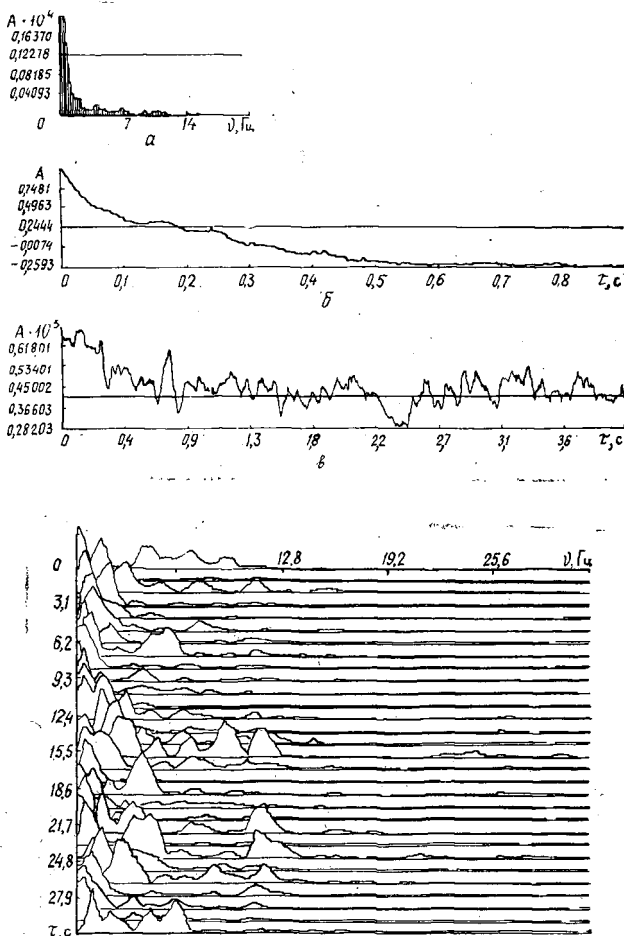


Рис. 2. Накопленный энергетический спектр (а), автокорреляционная функция (б), сигнал процесса (в) и динамический спектр (г) при движении целлюлозной суспензии

ных проводили расчет энергетического спектра (ЭС), автокорреляционной функции (КФ) и последовательности мгновенных спектров — динамического спектра (ДС).

Энергетический спектр (спектральную плотность мощности) вычисляли по 512 отсчетам при весовом окне Хемминга с 50 %-м перекрытием и 10 накоплениях [1—3]. Частотное разрешение составляло 0,45 Гц. Расчеты КФ производили аналогично, но при этом брали неперекрывающиеся участки и не использовали весовое окно. Алгоритм построения ДС включает разбивку исследуемого процесса на элементарные участки, спектры которых изображаются на графике один под другим с небольшим смещением, создавая как бы дополнительную развертку по времени.

В качестве иллюстрации на рис. 2 приведены ЭС, КФ, сигнал процесса и ДС, полученные при течении суспензии концентрацией 12,0 % со скоростью 2,86 м/с (A — амплитуда, τ — время, ν — частота).

Качественная оценка полученных спектров позволяет сделать следующие выводы:

все процессы представляют собой шумовые низкочастотные колебания без резко выделяющихся гармонических составляющих, мощность которых падает с увеличением частоты;

спектр процесса смещается в низкочастотную область при увеличении скорости движения суспензии, что свидетельствует о появлении мощных низкочастотных флуктуаций; высокочастотные составляющие спектра с возрастанием скорости уменьшаются.

Последнее обстоятельство дало нам возможность перейти к количественной оценке результатов. С помощью коэффициента мощности спектральных составляющих R , определяемого отношением мощностей низко- и высокочастотных спектральных составляющих, найдена расчетная зависимость между R и W . С увеличением W коэффициент R возрастает.

В качестве примера в табл. 1 представлены экспериментальные данные (скорость движения суспензии W , расход Q и коэффициент мощности R) для целлюлозной суспензии с концентрацией 12,0 %.

Для определения вида зависимости R от W проведена обработка полученных результатов методом наименьших квадратов. Конкретный вид математической зависимости (линейная, экспоненциальная и т. д.) выбирали по статистическим характеристикам (наименьшая суммарная среднеквадратичная ошибка S , максимальный коэффициент корреляции K).

Обработка опытных данных показала, что зависимость между коэффициентом мощности спектральных составляющих и скоростью движения суспензии лучше всего аппроксимируется функцией

Таблица 1

Коэффициенты мощности спектральных составляющих при различных скоростях целлюлозной суспензии

W , м/с	Q , м ³ /ч	R	W , м/с	Q , м ³ /ч	R
0,485	30,9	2,49	2,860	182,0	7,52
		2,28			11,99
0,695	44,3	3,51	3,620	230,0	10,10
		4,87			13,75
1,400	89,2	5,59	4,380	278,6	10,04
		8,13			16,11
2,120	135,0	8,67	4,600	293,1	9,39
		10,17			

$$W = aR^b.$$

Коэффициенты a и b в этом уравнении определяются концентрацией суспензии. В табл. 2 приведены значения коэффициентов a , b и K , а также стандартной ошибки S для суспензий различной концентрации.

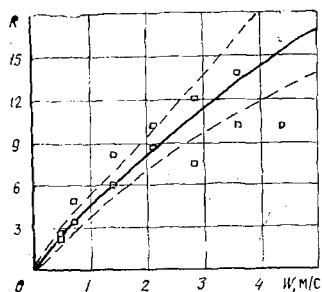
Таблица 2
Расчетные коэффициенты
и статистические характеристики

$C, \%$	a	b	K	S
10,4	exp (-1,40)	0,96	0,91	0,34
11,5	exp (-1,36)	0,97	0,92	0,32
12,0	exp (-1,87)	1,23	0,93	0,29

Из табл. 2 видно, что коэффициент корреляции по абсолютной величине достаточно высок (0,91...0,93). Можно также отметить, что наблюдается определенная зависимость коэффициентов a и b от концентрации суспензии. Однако небольшие пределы изменения C не позволяют выявить эту зависимость.

Для иллюстрации зависимости R от W на рис. 3 приведены экспериментальные данные и рассчитанная по уравнению кривая.

Рис. 3. Зависимость коэффициента мощности спектральных составляющих от скорости целлюлозной суспензии (сплошная линия — расчетная кривая; штриховые — 90 %-е доверительные границы расчетной кривой)



По результатам исследований можно сделать вывод о возможности использования предложенного метода измерения и расчета скорости движения концентрированных волокнистых суспензий в трубопроводах и каналах различного сечения. При наличии ЭВМ обработка опытных данных и получение значений скорости движения не представляют трудности. Для обобщения результатов необходимо проведение дополнительных исследований в более широких диапазонах значений концентраций и скоростей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ваттс Д. Д. Спектральный анализ и его приложения.— М.: Мир, 1971.— 584 с. [2]. Марлл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения.— М.: Мир, 1990.— 582 с. [3]. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций.— М.: Наука, 1968.— 463 с.

Поступила 22 февраля 1993 г.