

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ ЦЕЛЛЮЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

А.Г. Карпов, О.С. Иванов, М.С. Василишин, В.В. Будаева, Н.В. Бычин

Исследовано влияние массовой доли твердой фазы и температуры на эффективную вязкость водных суспензий целлюлозосодержащего сырья. Выполнена оценка влияния технологических параметров на расходные характеристики и величину потерь давления при гидротранспорте суспензии на горизонтальном участке гидравлически гладкого цилиндрического канала. Определены значения касательных напряжений, возникающих на стенке канала при движении суспензии.

Ключевые слова: водные суспензии целлюлозосодержащего сырья, эффективная вязкость, закономерности движения в горизонтальных цилиндрических каналах.

ВВЕДЕНИЕ

Водные суспензии целлюлозосодержащего сырья (ЦСС) образуются во многих технологических процессах его обработки. Гидродинамическое поведение таких систем при движении по трубопроводам, через рабочие камеры аппаратов и запорную арматуру значительно отличается от поведения однородных жидкостей. В зависимости от физико-механических характеристик твердой фазы суспензии, ее концентрации, параметров смачиваемости возможно значительное изменение вязкости и, следовательно, характеристик течения, что может приводить к нарушению рабочих режимов эксплуатации оборудования.

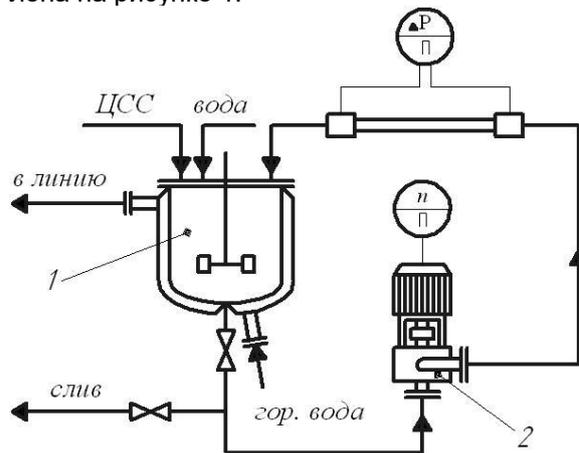
Для обоснованного проектирования систем гидротранспорта ЦСС и подбора насосного оборудования необходима информация по потерям давления потоком суспензии при ее движении, а также величине напряжений, возникающих при контакте со стенкой трубопровода. Такие сведения применительно к водным суспензиям ЦСС, полученным в результате щелочной делигнификации, последующего измельчения и отмывки соломы Мискантуса в установке с роторно-пульсационным аппаратом отсутствуют.

В связи с этим, целью работы является исследование реологических свойств и основных закономерностей движения водной суспензии ЦСС из соломы Мискантуса на горизонтальных участках гидравлически гладких цилиндрических каналов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эксперименты по оценке потерь давления при транспортировании суспензии прово-

дили на установке, схема которой представлена на рисунке 1.



1 – аппарат емкостной; 2 – роторно-пульсационный аппарат

Рисунок 1 – Схема установки

В состав установки входит емкостной аппарат 1, объемом $V=8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, снабженный турбинным перемешивающим устройством. Роторно-пульсационный аппарат (РПА) 2 связан с аппаратом 1 единым циркуляционным контуром и используется как в качестве дезинтегрирующего, так и транспортирующего устройства (насоса). Подробное описание конструкции РПА, принципа его работы и технических характеристик приводится в [1]. Установка снабжена необходимой запорной арматурой и контрольно-измерительными приборами.

На горизонтальном участке циркуляционного контура имеется вставка, выполненная в виде оптически прозрачного силиконо-

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

вого шланга с внутренним диаметром $d=0,016$ м и длиной $L=1,5$ м. Торцы шланга, фиксируются в специальных обоймах, снабженных патрубками подсоединения к тягонапорометру для измерения потерь давления на контрольном участке.

Непосредственно перед опытом исходная суспензия измельчалась в течение одного часа в РПА, при этом зазор между его ротором и статором составлял $\delta=0,1 \cdot 10^{-3}$ м, а число оборотов ротора $n=41,7$ с⁻¹.

На рисунке 2 представлена микрофотография предварительно обработанного таким образом образца суспензии, полученная с использованием электронного растрового микроскопа JSM-840 (Япония).

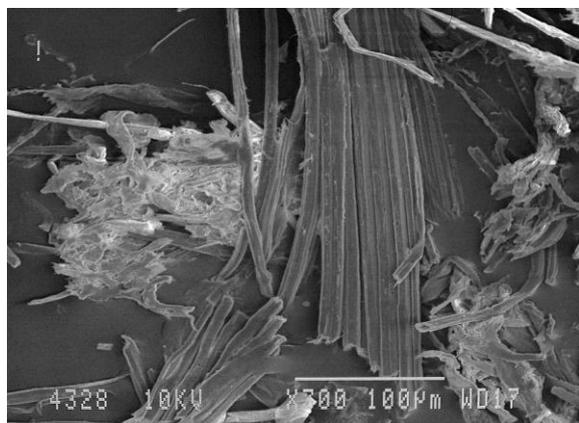


Рисунок 2 – Микрофотография образца суспензии ЦСС, подвергнутого измельчению в РПА (увеличение $\times 300$)

Твердая фаза суспензии представляет собой волокна (фибриллы) диаметром от 5 до 10 мкм, длиной 100-150 мкм, полученные в результате разрушения преимущественно в продольном направлении более крупных фрагментов. С увеличением концентрации твердой фазы, отдельные волокна проявляют склонность к переплетению и образованию клубков. После обработки в РПА в суспензии, по-видимому, возникают структурные связи, проявляющиеся в образовании пространственной сетки из частиц твердой фазы, не склонной в течение длительного времени к коагуляции. Образованием такого рода структуры объясняются особенности гидродинамического поведения суспензии ЦСС при ее движении по трубопроводам.

Важнейшей реологической характеристикой водных суспензий ЦСС является их эффективная вязкость $\mu_{эф}$. В работе выполнена оценка ее изменения в зависимости от массовой концентрации твердой фазы ϵ и

температуры t . Определение вязкости проводили с использованием ротационного вискозиметра REOTEST-2. Полученные данные (рисунок 3) свидетельствуют о практически линейном увеличении вязкости суспензии при изменении ϵ в диапазоне от 0,05 до 0,15.

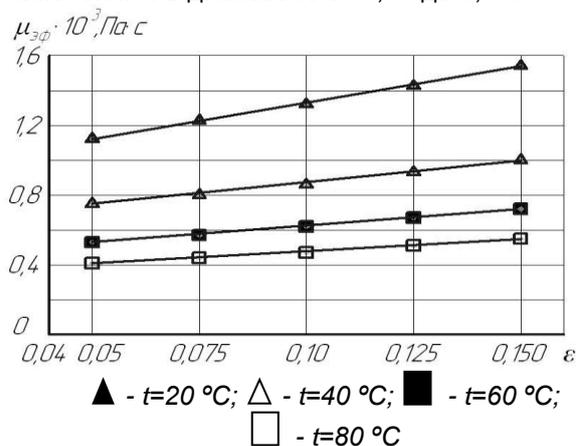


Рисунок 3 – Зависимость изменения эффективной вязкости суспензии ЦСС $\mu_{эф}$ от концентрации твердой фазы ϵ

Следует заметить, что при $t=20$ °C увеличение вязкости с ростом концентрации твердой фазы является более заметным, чем при 80 °C. Увеличение температуры суспензии при прочих равных условиях снижает вязкость, что на практике может быть использовано для уменьшения энергозатрат на гидротранспорт суспензии.

Концентрация твердой фазы в суспензии определенным образом влияет на расходные характеристики гидротранспорта ЦСС (рисунок 4). С увеличением ϵ расход суспензии через горизонтальный канал снижается, причем темп снижения при $t=20$ °C более интенсивный чем при $t=80$ °C.

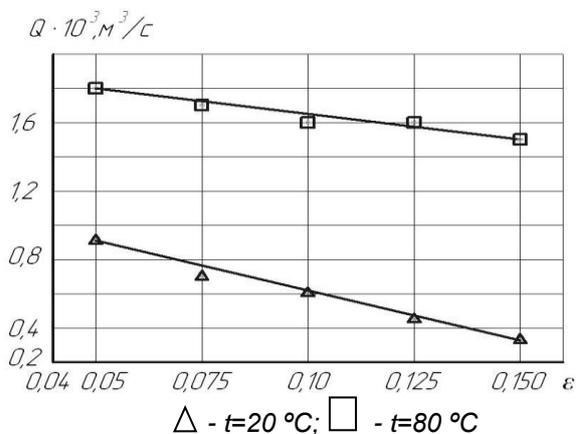


Рисунок 4 – Изменение расхода суспензии ЦСС Q от концентрации твердой фазы ϵ

Известно [2,3], что при гидротранспорте энергия несущей среды расходуется на преодоление сил внешнего и внутреннего трения в потоке, формирование поля скоростей и давлений, а также обеспечение относительного движения фаз. При этом только незначительная ее часть расходуется непосредственно на транспортирование твердой фазы. В связи с этим, вопрос оценки энергозатрат при гидротранспорте суспензий является достаточно важным.

Оценку потерь давления потоком суспензии ЦСС при преодолении им горизонтального измерительного участка циркуляционного контура установки проводили при различных значениях массовой концентрации твердой фазы. На рисунке 5 приведены зависимости потери давления $\Delta P/L$ от скорости суспензии w .

$\Delta P/L \cdot 10^{-2}, \text{Па/м}$

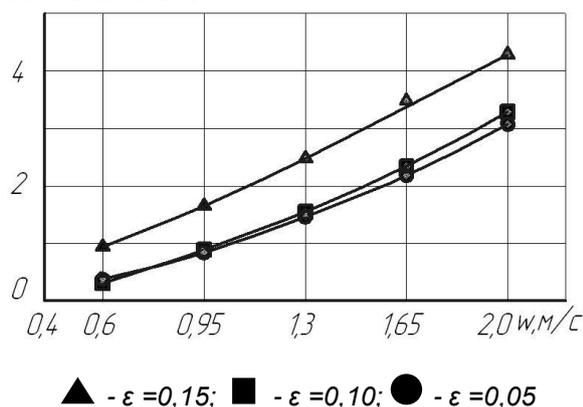


Рисунок 5 – Зависимость изменения потерь давления $\Delta P/L$ суспензией ЦСС от скорости w

Как и следовало ожидать, с увеличением скорости суспензии в пределах от 0,6 до 2,0 м/с потери давления возрастали. При этом увеличение ϵ от 0,05 до 0,15 в диапазоне скоростей суспензии от 0,6 до 0,95 м/с практически не сказывалось на величине потерь давления, в то время как при скоростях от 1,3 до 2,0 м/с эти потери с ростом ϵ заметно возрастали. Очевидно, что гидротранспорт суспензии ЦСС должен осуществляться при скоростях потока, близких к минимально допустимым. При этом необходимо обеспечение условий, гарантирующих «невыпадение» частиц твердой фазы на стенки канала (трубы). Применительно к изучаемой суспензии такие условия создаются в диапазоне скоростей 0,95-1,3 м/с.

Экспериментально полученные значения $\Delta P/L$ позволяют выполнить оценку величины касательных напряжений, возникающих на внутренней поверхности стенки измерительного участка при движении по нему суспензии ЦСС. В [4] показано, что эти напряжения определяются выражением:

$$\tau_{\text{ст}} = \Delta P R / 2L,$$

где R – внутренний радиус измерительного участка, м.

На рисунке 6 представлены зависимости касательных напряжений на стенке $\tau_{\text{ст}}$ от массовой концентрации суспензии ϵ .

Установлено, что в диапазоне изменения скорости суспензии w от 0,95 до 1,3 м/с концентрация твердой фазы практически не влияет на величину возникающих напряжений. При увеличении w от 1,65 до 2,0 м/с это влияние становится более заметным.

$\tau_{\text{ст}}, \text{Па}$

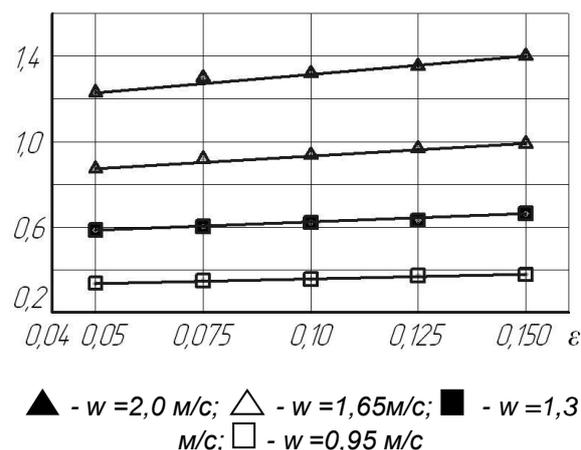


Рисунок 6 – Зависимость изменения касательных напряжений на стенке $\tau_{\text{ст}}$ от концентрации суспензии ϵ

ВЫВОДЫ

Экспериментально установлено, что эффективная вязкость водных суспензий ЦСС из соломы Мискантуса в диапазоне концентраций твердой фазы от 0,05 до 0,15 имеет тенденцию к увеличению. Повышение температуры при прочих равных условиях ведет к снижению вязкости.

Увеличение концентрации твердой фазы суспензии при одновременном повышении температуры от 20 до 80 °С приводит к снижению расходных характеристик гидротранспорта.

Показано, что увеличение скорости движения суспензии в гидравлически гладком

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2017

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

горизонтальном канале от 0,6 до 2,0 м/с способствует росту потерь давления. Применительно к исследуемой суспензии определена область предпочтительных скоростей гидротранспортирования. Выполнена оценка величины касательных напряжений на внутренней поверхности канала при движении по нему суспензии ЦСС и установлен характер изменения напряжений в зависимости от концентрации суспензии.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № II.2 Комплексной программы СО РАН «Интеграция и развитие».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, О.С. Исследование процесса нейтрализации кислых стоков известняком в роторно-пульсационном аппарате / О.С. Иванов, М.С. Василишин, А.Г. Карпов и др. // Химическая промышленность сегодня. - №1. - 2013. - с. 29-34.

2. Смолдырев, А.Е. Трубопроводный транспорт / А.Е. Смолдырев – М.: Недра, 1980. - 293 с.

3. Силин, Н.А. Гидротранспорт / Н.А. Силин – Киев: Наукова думка, 1971. - 232 с.

4. Разумов, И.М. Пневмо- и гидротранспорт в химической промышленности / И.М. Разумов – М.: Химия, 1979. – 245 с.

Карпов А.Г. - научный сотрудник Лаборатории процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Иванов О.С. - к.т.н., научный сотрудник Лаборатории процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Василишин М.С. - к.т.н., доцент, заведующий Лабораторией процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Будаева В.В. - к.х.н., доцент, заведующая Лабораторией биоконверсии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: budaeva@ipcet.ru.

Бычин Н.В. - старший научный сотрудник Лаборатории физико-химических основ создания энергетических конденсированных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.