Волокитин Валериан Георгиевич. Разработка способа хранения шламсодержащих солей в виде суспензий в целлюлозно-бумажном производстве : диссертация ... кандидата технических наук : 05.06.03. - Ленинград, 1984. - 211 c. : ил. РГБ ОД, 61:85-5/767

**Содержание к диссертации**

Введение

**2. Анализ экспериментальных и теоретических исследований процессов хранения, подготовки к переработке и транспортирования по трубам суспензий. постановка задач, методы исследований . стр. 12**

2.1. Хранение суспензий и подготовка их к переработке. стр.12

2.2. Экспериментальные и теоретические исследования течения реальных структурированных дисперсных систем. стр.15

2.2.1. Общие положения. стр.15

2.2.2. Реологические модели реальных структурированных дисперсных систем . стр.17

2.2.3. Течение реальных дисперсных структурированных систем в трубах. стр. 31

2.3. Выводы. стр.41

2.4. Постановка задач и обоснование методов исследований. стр.42

**3. Теоретические исследования объемного течения суспензий фосфорсодермцих солей и особенностей движения их в трубах . стр.44**

3.1. Особенности структурообразования и течения суспензий фосфорсодержащих солей. стр.44

3.2. Уравнение кривой течения концентрированных суспензий фосфорсодержащих солей. стр.54

3.3. Вывод уравнения расхода суспензий фосфорсодержащих солей при объемном течении их по трубам. стр.61

3.4. Вывод уравнения течения суспензий фосфорсодержащих солей по трубам и капиллярам. стр.63

3.5. Определение гидравлических сопротивлений при движении суспензий фосфорсодержащих солей по трубам. стр.75

3.6. Выводы. стр.80

**4. Экспериментальные исследования процесса приготовления растворов фосфорсодержащих солей, физико-механических, теплофизических и реологических свойств суспензий фосфорсодержащих солей . стр.82**

4.1. Исследования процесса приготовления растворов фосфорсодержащих солей и влияния длительного хранения на качество суспензий . стр.82

4.2. Исследования физико-механических свойств суспензий аммофоса и суперфосфата. стр.88

4.3. Исследование теплофизических свойств суспензий. стр.93

4.4. Исследование реологических свойств суспензий. стр.104

4.4.1. Описание ротационного вискозиметра. Факторы, влияющие на достоверность измерений. стр.104

4.4.2. Методика исследования на ротационном вискозиметре. стр. 111

4.4.3. Экспериментальные исследования реологических свойств суспензий аммофоса на ротационном вискозиметре. стр. 111

4.4.4. Экспериментальные исследования реологических свойств суспензий суперфосфата на ротационном вискозиметре. стр.119

4.4.5. Экспериментальные исследования реологических свойств дисперсионных сред аммофоса и суперфосфата. стр.125

4.4.6. Выводы. стр.126

**5. Экспериментальные исследования режимов течения суспензий фосфорсодержащих солей по капиллярам и трубам промышленных диаметров . стр. 128**

5.1. Экспериментальные исследования на капиллярном вискозиметре стр128

5.1.1. Описание капиллярного вискозиметра и методики исследований. стр.128

5.1.2. Экспериментальные исследования течения суспензий аммофоса и суперфосфата по капиллярам. стр.132

5.2. Экспериментальные исследования режимов течения суспензий аммофоса по трубам промышленного диаметра. стр.139

5.2.1. Описание опытно-цромышленной установки и методики исследований. стр.139

5.2.2. Описание результатов исследований на опытно-промышленной установке . стр.142

5.2.3. Экспериментальные исследования потерь напора в местных сопротивлениях. стр.155

5.3. Оценка точности экспериментальных исследований реологических свойств и параметров гидротранспортирования суспензий фосфорсодержащих солей. стр.156

5.3.1. Погрешности определения реологических параметров. стр.159

5.3.2. Погрешности определения параметров гидротранспортирования суспензий по трубам. стр.161

5.4. Выводы. стр.163

**6. Практическое применение результатов исследований. стр.166**

6.1. Методика инженерных расчетов механизированных систем хранения суспензий фосфорсодержащих солей стр.166

6.2. Внедрение результатов исследований на промышленных предприятиях и в проектных организациях. стр.180

Заключение. стр. 183

Литература. стр.184

Приложения. стр.195

* [Реологические модели реальных структурированных дисперсных систем](http://www.dslib.net/poligraf-mashyny/razrabotka-sposoba-hranenija-shlamsoderzhawih-solej-v-vide-suspenzij-v-celljulozno.html#1865691)
* [Исследования процесса приготовления растворов фосфорсодержащих солей и влияния длительного хранения на качество суспензий](http://www.dslib.net/poligraf-mashyny/razrabotka-sposoba-hranenija-shlamsoderzhawih-solej-v-vide-suspenzij-v-celljulozno.html#1865692)
* [Описание результатов исследований на опытно-промышленной установке](http://www.dslib.net/poligraf-mashyny/razrabotka-sposoba-hranenija-shlamsoderzhawih-solej-v-vide-suspenzij-v-celljulozno.html#1865693)
* [Методика инженерных расчетов механизированных систем хранения суспензий фосфорсодержащих солей](http://www.dslib.net/poligraf-mashyny/razrabotka-sposoba-hranenija-shlamsoderzhawih-solej-v-vide-suspenzij-v-celljulozno.html#1865694)

## Реологические модели реальных структурированных дисперсных систем

За последние десятилетия гидротранспорт различных дисперсных систем (водопесчаные, водоугольные смеси, строительные растворы, буровые и промывочные жидкости, краски, нефть, кормовые, пищевые и навозные массы, суспензии химикатов, волокнистые суспензии, полимеры и т.д.) получает все большее развитие. Это привело к накоплению огромного количества опытных данных по зависимости эффективной (кажущейся) вязкости от режимов течения и породило более трех десятков реологических моделей, большей частью эмпирических. Большое количество моделей объясняется значительным разнообразием реальных жидкостей и отсутствием единой теории, количественно хорошо согласующейся с экспериментом.

Однако из многообразия реальных систем можно выделить несколько типичных. На рис.2.1, 2.2 изображены графические зависимо-сти градиента скорости 7р от касательного напряжения TJ , называемые обычно реологическими кривыми или кривыми течения.

Анализ кривых, изображенных на рис.2.1, 2.2, показывает что, кроме ньютоновской жидкости, характеризующейся постоянной вязкостью и реологическим законом Ньютона

Формула (2.10) получила название степенного реологического уравнения и чаще всего применяется на практике для описания течения реальных систем, реологические кривые которых имеют вид, аналогичный кривым 2, 3 рис.2.1.

Показатель степени П в формуле (2.10) называют индексом течения или показателем нелинейности, псевдопластичности, а коэффициент К , являющийся аналогом вязкости - показателем консистенции.

Примером структурированной жидкости, используемой в целлюлозно-бумажной промышленности, течение которой описывается с помощью уравнения (2.10), могут служить концентрированные суспензии глинозема, реологические свойства которых были исследованы М.В.Ванчаковым и В.Б.Шиловым /22/.

Зависимости средних значений касательных напряжений Т от среднего значения градиента скорости D , снятые на ротационном вискозиметре, изображены на рис.2.3, а.

Кривые рис.2.3, б показывают, что с увеличением плотности суспензии величина показателя консистенции К растет, а показателя нелинейности - падает. С увеличением температуры текучесть суспензии возрастает за счет уменьшения коэффициента К

М.Л.Фрисман /23/ исследовал реологические свойства щелоко-сульфатных смесей концентраций 35-67$ с помощью ротационного вискозиметра. Было установлено, что исследуемые суспензии являются структурированными жидкостями с сольватным структурообразованием (см.главу 3), проявляющими при течении в зазоре вискозиметра и трубах неньютоновские свойства. На рис.2.4. изображены экспериментальные зависимости Т(ПС) для щелоко-сульфатных смесей различных концентраций.

Автор предположил, что "... в пределах использованных значений Ф реологическую кривую течения щелоко-сульфатных суспензий можно представить состоящей из 2-х участков

Следует отметить, что прямолинейный участок экспериментально был обнаружен лишь у суспензии концентрации 45% (см.рис.2.6), в промышленности же рекомендуется использовать концентрацию более 50%, так что основным уравнением, удовлетворительно описывающим течение исследуемых суспензий, является уравнение (2.10).

Зависимости реологических параметров К и П. от концентрации суспензии получены экспериментально и приведены на рис.2. 7. Сравнивая зависимости К (S), п (S) , изображенные на рис.2.7 и 2.3, а, видим, что характер этих зависимостей аналогичен: с увеличением концентрации значения показателя консистенции К возрастают, а показателя нелинейности П - убывают. Однако кривизна этих зависимостей различна, так что для двух сред, течение которых описывается одним реологическим уравнением, для количественного описания течения необходимо, как минимум, проведение экспериментальных исследований реологических свойств суспензий. Это говорит о несовершенстве реологической модели.

Критике степенного реологического уравнения (2.10) посвящена обширная литература, см., например, /24/, поэтому, во избежание повторов, отметим лишь, что уравнение (2.10) теряет смысл при малых и больших скоростях сдвига, а показатель Л не имеет физического смысла, являясь величиной с переменной размерностью. Эти же недостатки (все одновременно или частично) присущи и остальным реологическим моделям (2.5 2.7), так что их применение, по мнению, например, У.Л.Уилкинсона /25/, не дает особых преимуществ перед формулой (2.10.), а использование модели (2.8) в практических расчетах создает определенные трудности вследствие ее трансцендентности.

Реологические кривые 4, 5, 6 на рис.2.1 характерны для т.н. вязкопластичных сред, отличающихся от структурированных жидкостей тем, что течение первых начинается лишь по достижении некоторого начального напряжения сдвига Т0 , называемого иногда пределом прочности.

Наибольшее распространение для описания течения вязкопластичных сред получила модель Шведова-Бингама

Уравнение (2.12) успешно применялось для описания течения торфа, глинистых растворов, бумажной массы, пищевых паст, бетона и т.д., однако накапливающийся экспериментальный материал по течению различных реальных сред, проявляющих начальное напряжение сдвига, но не описываемых уравнением (2.12), выявило недостатки модели Шведова-Бингама. Этому вопросу также посвящен ряд работ и, в частности, приводившаяся выше книга З.П.Шульмана /24/. Суть критики модели (2.12) сводится к тому, что она, применительно к многим реальным средам, не учитывает все деформационные процессы, происходящие при их течении в широком диапазоне скоростей сдвига и напряжений.

На рис.2.8 представлены зависимости СТГ) » полученные автором путем обработки экспериментальных данных на основе модели (2.13) и (2.12) - по уравнению Рейнера-Ривлин для ротационного вискозиметра, а на рис.2.9 - обобщенная реологическая кривая каолиновых суспензий, аппроксимируемая двумя прямолинейными участками, характеризующими различные режимы течения суспензий. По мнению автора, при напряжениях, больших Х0 наблюдается течение без разрушения структуры за счет скольжения в местах контактов дисперсных частиц, составляющих структурную пространственную сетку. Течение в этом режиме характеризуется значением наибольшей вязкости неразрушенной структуры П При напряжениях, больших Т происходит течение с непрерывно разрушающейся структурой с вязкостью О

Модель Ванчакова была подтверждена В.И.ФеДоренко при исследовании течения каолиновых суспензий по трубам и лоткам /27/. На рис.2.10 приведены экспериментальные зависимости Т(Т) для каолиновых суспензий различных концентраций.

На рисунке явно различаются два прямолинейных участка, в соответствии с (2.13).

Тиксотропные системы (рис.2.2) в общем случае характеризуются наличием трех участков на кривой течения: участок UF\ - прямолинейный, с максимальной вязкостью неразрушенной структуры/? , О - образный криволинейный участок ABC с точкой перегиба В с переменной вязкостью и прямолинейный участок (Т- Тт ) с минимальной ньютоновской вязкостью предельно разрушенной структуры П . При соблюдении этих основных отличий некоторые тиксо-тройные системы обладают ярко выраженными индивидуальными особенностями, вызванными характером их структурообразования.

В качестве примера тиксотропной системы, используемой в целлюлозно-бумажной промышленности, можно привести волокнистые суспензии

Уравнения (2.16), (2.17) отражают физические процессы, происходящие цри течении волокнистых суспензий в широком диапазоне X и Ф и хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными В.М.Халтуриным /30/ и А.Н.Панфиловым /31/ на трубах промышленных диаметров (до 300 мм) для различных видов бумажной массы, в широком диапазоне концентраций (от 0,5 до 7%).

## Исследования процесса приготовления растворов фосфорсодержащих солей и влияния длительного хранения на качество суспензий

Исследования процесса приготовления растворов проводили на лабораторной установке (рис.4.1), представляющей из себя цилиндр из оргстекла I диаметром 15 см и емкостью 20 литров с коническим днищем, установленный вертикально с помощью подставки 5 и оттяжки 6. Пробочный кран 3 и патрубок 2 использовались для подачи в цилиндр воды. Сливные патрубки 4, оборудованные пробочными кранами, предназначались для отбора раствора.

Эксперимент проводили в следующей последовательности. Суспензию определенной концентрации, приготовленную на отдельном стенде, заливали в цилиндр. По истечении некоторого времени суспензия расслаивалась с образованием осветленного раствора и осадка. Отбор раствора производили из сливного патрубка, ближайшего к границе раздела фаз. Объем отобранного раствора замеряли с помощью мерного цилиндра, затем определяли содержание фосфора в нем. Количество фосфора в пробах определяли фотокалориметрическим методом, основанном на образовании фосфорномолибденового комплекса, дающегоппри восстановлении гидрохиноном и сернокислым натрием синее окрашивание. После отбора раствора открывали кран 3 и вода подавалась до прежнего уровня. Далее повторяли указанные выше операции. Отборы раствора производили до полного извлечения фосфора из соли. По окончании эксперимента определяли растворимость соли и степень извлечения из нее фосфора. На рис.4.2. изображена зависимость концентрации fg Us в пробе от номера отбора пробы для суспензии аммофоса при Т : Ж = 2,0.

Исследовали суспензии аммофоса, полученные при весовом соотношении соли (Т) и воды (Ж), равным 0,7; 1,0; 1,5; 2,0; и суперфосфата - 0,6; 1,0; 1,3; 1,8. В результате обработки кривых изменения концентрации растворов для суспензий исследованного диапазона плотностей были построены специальные номограммы /94/, позволяющие определять содержание /g Us в отбираемом растворе после любого цикла растворения. Таблица концентраций отбираемых растворов приведена в главе 6.

В таблице 4.1 приведены сравниеельные данные растворения аммофоса и суперфосфата.

Данные, приведенные в таб. 4.1, показывают что для исследованных солей существуют соотношения Т : Ж, цри которых выщелачивание фосфора протекает наиболее интенсивно и с максимальным извлечением фосфора. Для суперфосфата это соотношение равняется 1,3; для аммофоса - 2,0 и 1,0. Учитывая более высокое содержание соли в единице объема суспензии цри соотношении Т : Ж, равном двум, превосходящее содержание продукта в единице объема при кучевом хранении, для аммофоса было выбрано соотношение Т : Ж = 2,0.

Следовательно, рекомендуемыми концентрациями суспензий суперфосфата и аммофоса в емкостях-реакторах являются концентрации, соответствующие указанным выше соотношениям.

Влияние длительного хранения суспензий на их качество проводили с помощью двух герметически закрытых стеклянных сосудов объемом 3 литра, оборудованных мешалками. Исследовали суспензии аммофоса и суперфосфата с соотношением Т : Ж = 1,5. Содержимое сосудов ежедневно перемешивалось, после чего отбирали пробы растворов и определяли содержание в них фосфора по методике, приведенной выше. Исследование проводили при постоянной температуре 20С в течение месяца. Результаты эксперимента сведены в таблицу 4.2.

В результате исследований установлено, что хранение аммофоса и суперфосфата в виде концентрированных суспензий в течение длительного времени не влияет на содержание в них питательных веществ. Концентрация гі (А в растворе практически не изменяется.

Микроскопирование суспензий в конце месяца показало, что микрофлора в них отсутствует /95/.

Т.о., экспериментальные исследования, описанные в настоящем параграфе, позволяют сделать следующие выводы.

1. Определены концентрации суспензий, при которых извлечение фосфора из солей происходит наиболее эффективно: для аммофоса О = 53$, для суперфосфата - О = 35$.

2. Получены зависимости изменения концентраций отбираемых растворов от количества циклов растворения для суспензий аммофоса и суперфосфата в широком диапазоне плотностей суспензий,

3. Длительное хранение суспензий не влияет на их качество

## Описание результатов исследований на опытно-промышленной установке

На рис.5.14 5.16 изображены зависимости , полученные при движении суспензий исследованных концентраций по трубам диаметрами 125,100 и 70 мм.

Из рассмотрения экспериментальных кривых видно, что для суспензий концентрацией 47,8 59,7$ реализуется турбулентный режим движения, при этом с повышением концентрации зависимости I( и / располагаются выше и круче. Построение зависимостей P/PS/(U J, т.е. в метрах столба перекачиваемой жидкости (см.рис.5.17) показало, что для суспензий с о = 47,8 и 55$ полученные кривые совпали с потерями напора при движении чистой воды, а кривые для О = 59,7$ расположились выше. Следовательно, экспериментальные данные трубных исследований подтверждают результаты, полученные с помощью ротационного вискозиметра, согласно которым суспензии аммофоса концентрациями ниже 59$ проявляют свойства ньютоновских жидкостей, поэтому течение их по трубам можно описывать с помощью зависимостей, применяемых для описания движения воды.

Суспензии же концентрацией выше 59$ относятся к неньютоновским средам, что и подтверждается расположением кривых с о = = 59,7$ для труб диаметрами 125 и 70 мм, приведенными на рис.5.17.

На кривых (,( {J J для О = 64,0 и 66,4$, как видно из рис.5.14-5.16, можно выделить два участка: ламинарный с выпуклостью, расположенной вверх, и турбулентный, с выпуклостью, расположенной вниз. Для концентрации 68,7$ на трубах всех использованных диаметров был реализован только ламинарный режим, а для концентрации 59,7$ - только турбулентный. На кривых с о = 64 и 66,4$ незаштрихованными кружками обозначены значения скорости, соответствующие началу турбулентного режима, подсчитанные по формуле (3.35). Расположение экспериментальных точек показывает, что расчетные значения (/" соответствуют точкам перегиба кривых і ( ЦJ , ниже которых располагаются участки ламинарного течения, выше - турбулентного, что подтверждает справедливость теоретических предпосылок, принятых в 3.5 и правомерность использования формулы (3.68) для нахождения границ ламинарных участков при транспортировании по трубам исследуемых суспензий.

С целью выявления наличия пристенного эффекта при транспортировании исследованных суспензий по трубам опытные данные для ламинарных участков обрабатывали в виде зависимостей среднего эффективного градиента скорости JJe от напряжения сдвига на стенке трубы TR , изображенные для суспензий с о = 64,0; 66,4 и 68,7$ на рис.5.18, 5.19. Рассмотрение представленных кривых течения подтверждают наличие пристенного эффекта: зависимости JJ9 (Т) для труб различных диаметров не совпадают, неинвариантность значений //е достигает 140$.

Построение зависимостей для фиксирован ных значений X показало их црямолинейный характер (рис. & 20 + 5.22), что является доказательством справедливости уравнения (3.42) при описании течения исследуемых суспензий по трубам.

Затем для каждой исследованной суспензии были найдены средние значения коэффициента переноса оО и построена экспериментальная зависимость оС = , приведенная на рис.5.23. Обработка этой кривой по методу наименьших квадратов позволила получить аналитическое выражение для (?С при течении суспензий аммофоса по трубам, приведенное ранее (3.51):

-Q19(1-S/Sj.

Для экспериментальной проверки инвариантности значений реологических параметров объемных слоев исследуемых суспензий, определенных в результате ротационной и трубной вискозиметрии, на ротационном вискозиметре дополнительно была снята зависимость 7р(Т) для суспензии D= 66,4$, изображенная на рис.5.24. На этом же рисунке нанесены значения Т я) » подсчитанные, согласно цитировавшейся выше работе Толстого /39/ по формуле: j = 3De. (5.6)

Как видно из рисунка, экспериментальные и расчетные точки ложатся на одну кривую.

Кроме того, строили зависимости I) г (Т) , где UoS на ходили из зависимостей J) (// f\ ) - экстрополяцией их на ось JJ , а также по формуле (3.27). Значения JJ \_ , определенные графически и расчетным путем, практически совпадали, и здесь не приводятся.

Значения постоянной О в выражении для обобщенного критерия п (3.69), найденные по методике, изложенной в 5.1, приведены в таблице 5.4.

Из данных таблицы 5.4 видно, что с достаточной степенью точности можно принять и =3, при этом отклонения экспериментальных значений от среднего значения не превышают Ъ%,

Чтобы проверить, насколько предложенные критерии АЄ обобщают опытные данные, полученные в результате капиллярной и трубной вискозиметрии, была построена зависимость экспериментальных значений /\ от де , изображенная в логарифмических координатах на рис.5.25.

Для суспензий суперфосфата находили как обычное Кб , для суспензий аммофоса - по (3.71) для капилляров и (3.70) - для труб. Расположение опытных точек показывает, что они вполне удовлетворительно описываются зависимостью А = о " / Г\ Є , что подтверждает правильность предложенных критериев подобия, описывающих динамическое сотояние исследованных суспензий при наличии ламинарного пристенного слоя с развитым течением.

## Методика инженерных расчетов механизированных систем хранения суспензий фосфорсодержащих солей

Рециркуляция при длительном хранении суспензий осуществляется путем перекачивания отстоявшегося раствора в нижнюю часть емкости с целью предотвращения чрезмерного уплотнения осадка.

Периодичность рециркуляции выбирают на основании анализа седиментационных кривых. Авторы /112/ рекомендуют принимать время хранения без перемешивания равным половине времени интенсивного осаждения суспензии. Однако экспериментальное исследование процесса хранения исследуемых суспензий показало, что в данном случае время хранения без перемешивания можно принимать равным времени полного осаждения.

В таблице 6.1. приведены значения времени хранения для исследованных суспензий, полученные в результате обработки кривых седиментации, приведенных на рис.4.4, 4.5.

В качестве насосов выбирают центробежные типа фекальных, грунтовых или Песковых, при этом паспортные значения производительности и напора пересчитывают с учетом значений коэффициентов в таблице 6.2.

Пример. Определить потери напора и выбрать насос для перекачивания суспензии аммофоса из емкости- хранилища в емкость-реактор. Плотность суспензии О = 1540 кг/м , производительность (J =36 м3/час= 0,01 м3/с, длина трубопровода и - 25 м, высота подъема суспензии Г)0 = 5 м, радиус трубы Н = 0,05 м.

Находим величину объемной концентрации суспензии, соответствующей заданной плотности

Для остальных выбранных значений Tfi величины 1)е оказались равными 18;2; 27,9; 37,8; 47,8; с"1 соответственно.

Далее строим графическую зависимость ZZ(tgJ которая здесь не приводится, определяем значение Up по заданной производительности L/c

Предварительно выбираем насос песковыи типа ЗПСР - 6 со следующими параметрами (по воде): производительность L/ = = 54 м3/час, развиваемый напор г/ = 24 м.в.ст., мощность электродвигателя /V = 13 квт.

Найдем значения напора /А и производительности (Л с учетом значений соответствующих коэффициентов, цриведенных в таблице 6.2.

На рис.6.1. приведена ориентировочная циклограмма работы склада, составленная для одного из проектируемых предприятий. Рассмотрение ее показывает, что для бесперебойной работы склада в данном случае узел емкостей-реакторов должен состоять из двух емкостей, узел сборников раствора - из трех емкостей. Полный цикл работы емкости-реактора I составил 95 часов.