

УДК 622.794.25

Е.А. ШУЛЬГИНА, студентка, НТУ «ХПИ»,
С.В. ЕРЕМЕНКО, студент, НТУ «ХПИ»,
А.Г. ТРОШИН, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

МЕХАНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКОВ ШНЕКОВЫХ ЦЕНТРИФУГ

У статті обґрунтовується вибір динамічної в'язкості у якості характеристики механо-реологічних властивостей осадів шнекових центрифуг

В статье обосновывается выбор динамической вязкости в качестве характеристики механо-реологических свойств осадков шнековых центрифуг

In the article the selection of dynamic viscosity is substantiated as the flow characteristic of scroll conveyor centrifuges precipitations

Постановка проблемы в общем виде и ее связь в важными научными или практическими заданиями. Основной тенденцией совершенствования осадительных шнековых центрифуг является повышение фактора разделения и длины ротора, что позволяет разделять в них суспензии, содержащие высокодисперсную твердую фазу (размер частиц 10 мкм и менее). Опыт работы центрифуг показывает, что во многих случаях они дают намного худшую степень задержания твердой фазы в осадок, чем это следует из расчетов. При этом расчеты центрифуг обычно базируются на расчете процесса осаждения. В то же время при разделении суспензий с высокодисперсной твердой фазой решающее влияние на эффективность центрифуги оказывает возможность образования «структурированного» осадка и выгрузки его шнеком через коническую часть ротора, т.к. нарушение выгрузки осадка приводит к накоплению твердой фазы внутри ротора, повышению объемной доли твердой фазы в зоне осаждения центрифуги, загромождению шнекового канала осадком и, в конечном итоге, срыву процесса разделения в целом либо к существенному загрязнению фугата. Возможность выгрузки осадка из ротора центрифуги будет определяться прежде всего его механо-реологическими характеристиками, а также конструктивными параметрами ротора (угол подъема винтовой линии шнека, угол конусности ротора) и режимными параметрами (фактор разделения, частота вращения шнека).

Цель работы – выбор механо-реологической характеристики осадков, которая с достаточной точностью позволяла бы прогнозировать поведение осадка в конической части ротора. Задачи исследования:

- выбор механо-реологических характеристик на основании анализа литературных данных и теоретический анализа;
- создание лабораторной установки и разработка методики исследования механо-реологических характеристик;
- проведение лабораторных исследований;
- обобщение полученных данных и постановка задач на дальнейшее исследование.

Изложение основного материала исследований. В [1] приводятся данные о том, что при разделении суспензии красителей (образующих слабо структурированный осадок) в центрифуге Ноздровского при угле конусности ротора 8° , обычно, для осадительных шнековых центрифуг, предназначенных для высокодисперсной твердой фазы, наблюдалось нарушение выгрузки осадка. И только уменьшение угла конусности до 4° позволило добиться устойчивой выгрузки осадка. В [2] сообщается, что при разделении высокодисперсных угольных шламов и отходов флотации в осадительной шнековой центрифуге НОГШ-1320 образующийся осадок по своим свойствам похож на вязкую жидкость. При определенных условиях осадок течет в шнековом канале в конической части ротора в сторону большего диаметра. Данное обстоятельство делает невозможным разделение суспензий с высокодисперсной твердой фазой в центрифугах этого типа.

В нашей практике наиболее примечательным явились опыты полупромышленного масштаба, в которых производилось разделение суспензии гидроксида титана на центрифуге ОГШ-460, имеющей угол конусности ротора $8,5^\circ$ и шаг шнека 100 мм. Предварительными лабораторными исследованиями была установлена возможность достаточно быстрого разделения данной суспензии в поле центробежных сил (в стаканчиковой центрифуге), однако консистенция осадка была наподобие сметаны (слабые структурные свойства), и для окончательного решения о применимости промышленной центрифуги для разделения суспензии были проведены полупромышленные испытания. Оказалось, что даже при очень низкой производительности до $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ по исходной суспензии, центрифуге

га не может разделить данную суспензию. Во время опытов происходило накопление «жидкообразного» осадка гидроокиси титана в роторе центрифуги, а когда ротор им полностью заполнялся, то осадок вместе с исходной суспензией выливался в окна выгрузки фугата. Этот опыт в чистом виде показывает, что даже при более чем достаточной разделительной способности зоны осаждения, разделение суспензии в целом может быть сорвано, если осадок не выгружается из ротора. Добавка в разделяемую суспензию определенного количества полимерного флокулянта, которая, как будет показано ниже, резко меняет механо-реологические свойства осадка, обеспечила устойчивую выгрузку осадка и ход процесса разделения в целом.

Известная нам практика работы центрифуг ОГШ-460 и других типов при разделении суспензий с высокодисперсной твердой фазой – буровых растворов, отходов горно-обогатительной отрасли, коммунальных сточных вод – содержит и другие подобные примеры. В качестве характеристик осадка, влияющих на возможность его выгрузки, при расчетах обычно используют коэффициент внутреннего трения и трения по поверхности материала шнека, а также угол естественного откоса в поле сил тяжести и в поле центробежных сил. Данные характеристики, таким образом, характеризуют осадок с позиций механики сыпучего тела. Однако осадок с высокодисперсной твердой фазой в условиях действия поля центробежных сил может оказаться более похожим на жидкость, чем на сыпучее тело. Учитывая наблюдаемые свойства осадков, предлагается использовать показатель динамической вязкости для характеристики свойств осадков с высокодисперсной твердой фазой.

Теоретический анализ, проведенный нами на базе известных теоретических сведений о течении ньютоновских жидкостей в проточной части винтовых насосов, показал, что применительно к конической части ротора центрифуги ОГШ эффективная динамическая вязкость осадка должна быть порядка 10 Па·с, для обеспечения принципиальной возможности транспортировки осадка по конической части ротора шнеком.

Описание экспериментальной установки. Эффективную вязкость осадков было предложено измерять при помощи разработанного и изготовленного капиллярного вискозиметра, состоящего из двух функциональных узлов. Первый служит для поддержания определенного избы-

точного давления, второй представляет собой отсоединяемую емкость(5) для исследуемого вещества (6) совмещенную с капилляром (7). Избыточное давление создавалось при помощи сжатого воздуха, который, проходя через обратный клапан (2), поступает в коллектор сообщающийся с манометром (1), краном сброса давления (8) и ресиверной емкостью (3), снабженной краном (4).

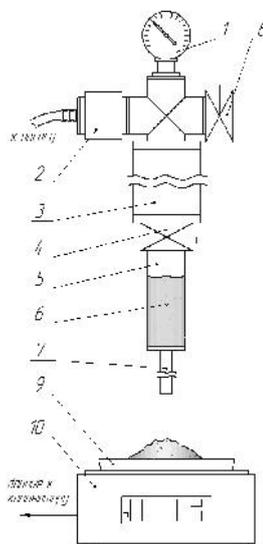


Рис.1 Схема экспериментальной установки

В результате действия избыточного давления, исследуемое вещество (осадок), проходя по капилляру (трубка ПВХ с внутренним диаметром 2,67 мм), попадает на чашу весов (9). В опытах использовались автоматические весы(10) RADWAG WPS 210S подключенные к компьютеру.

Методика проведения экспериментов: приготовление исследуемого осадка; измерение его плотности и влажности; загрузка осадка в емкость с капилляром; продавливание осадка через капилляр на чашу весов, значения передавались на компьютер с частотой 1 раз в секунду; по сохраненным на компьютере показаниям весов, определяем массовый расход вещества;

- математическая обработка данных:

1) получение динамического коэффициента вязкости (Па·с) в соответствии с уравнением Гагена-Пуазейля:

$$\mu = \frac{\pi d^4 \Delta P \rho}{128 l G},$$

где d – диаметр капилляра, м; ΔP – величина избыточного давления, Па; ρ – плотность осадка, кг/м³; l – длина капилляра, м; G – массовый расход осадка, кг/с;

2) определение среднего градиента сдвига, с⁻¹:

$$D = \frac{4V}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3},$$

где V – объемный расход осадка, м³/с.

Исследовались осадки гидроокиси титана и угольного шлама с размером частиц «-0,2 мм». Осадок гидроокиси титана был получен тремя способами (табл.):

- приготовление суспензии, обработка флокулянтам, разделение суспензии в промышленной центрифуге ОГШ-460, выгрузка осадка шнеком (гидроокись титана флок.);

- приготовление суспензии, отжим в стаканчиковой центрифуге при $Fr = 1633$ (гидроокись титана отжим 1);

- приготовление суспензии, отжим в стаканчиковой центрифуге при $Fr = 3333$ (гидроокись титана отжим 2).

Таблица								
Результаты экспериментов получения осадков								
Осадок	ΔP , кгс/см ²	G , г/сек	ρ , кг/м ³	D , с ⁻¹	μ , Па·с	W^* , %	Fr^*	T^* , с
Гидроокись титана (флок.)	0,2	0,0376	1349	14,9	10,2	63,2	569	
	0,4	0,0783	1349	30,9	9,8	63,2	569	
	0,6	0,122	1349	48,2	9,4	63,2	569	
Гидроокись титана отжим 1	0,2	0,1409	1166	64,4	2,3	73,0	1633	300
	0,4	0,3784	1166	173,0	1,7	73,0	1633	300
	0,6	0,5759	1166	263,3	1,7	73,0	1633	300
Гидроокись титана отжим 2	0,6	0,0128	1206	5,7	80,2	72,1	3333	600
	0,8	0,0168	1206	7,4	81,4	72,1	3333	600
Шлам угольный (флок.)	1	0,251	1440	92,9	8,1	38,8	1633	60
	0,8	0,114	1440	42,2	14,3	38,8	1633	60
	0,6	0,034	1440	12,6	36,0	38,8	1633	60
Шлам угольный отжим 1	0,3	5,63	1395	2151,1	0,1	43,3	1633	60
Шлам угольный отжим 2	0,4	0,529	1468	192,1	1,6	36,1	2700	60
Шлам угольный отжим 3	0,4	0,248	1500	88,1	3,4	33,2	3333	90
Примечание: W – влажность осадка; Fr – фактор разделения; T – время отжима								

Угольный шлам получен при пропускании через сито с размером ячейки 0,2 мм отходов углеобогащения УПП «Моспинское» и последующего отжима в стаканчиковой центрифуге с флокулянтной обработкой или без (см. таблицу). Фугат из стаканчика удалялся вместе с верхней гелеобразной частью осадка при содержании твердого вещества в фугате 54–95 г/л.

Обсуждение результатов экспериментальных исследований. Все исследуемые осадки ведут себя как неньютоновские жидкости – коэффициент эффективной динамической вязкости изменяется в зависимости от средней скорости сдвига и перепада давлений на капилляре (рис. 2 и табл.). В отсутствие надежных теоретических расчетов мерой возможности транспортировки осадка в конической части ротора центрифуги ОГШ-460 при данных конструктивных параметрах, являются свойства осадка гидроокиси титана, так как имеются достоверные экспериментальные данные (флокулированный осадок выгружается, а не обработанный флокулянт – нет). Таким образом, выгружаемыми являются осадки, имеющие эффективную вязкость более 10 Па·с. К таким осадкам относятся обработанный флокулянт угольный шлам, а также отжатая при факторе разделения 3333 в течение 10 минут гидроокись титана (вязкость последней на графике не показана).

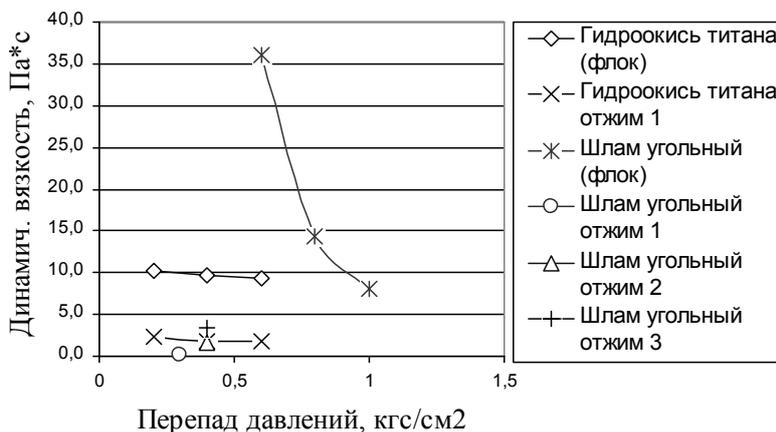


Рис. 2. Динамическая вязкость осадков при различных условиях истечения

«Не выгружаемыми» являются осадки с эффективной вязкостью менее 2,5 Па·с. Таковыми являются осадки угольного шлама влажностью 43-36%. Осадок влажностью 33,2% имеет вязкость порядка 3,5 Па·с, скорее всего он будет также не выгружаемым в реальных условиях.

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования позволяют предложить показатель эффективной динамической вязкости для характеристики механо-реологических свойств осадков с высокодисперсной твердой фазой, которая определяет возможность выгрузки осадка из ротора осадительных шнековых центрифуг. Дальнейшие исследования должны быть проведены в следующих направлениях: 1) усовершенствования оборудования для определения эффективной динамической вязкости; 2) создание базы данных по механо-реологическим свойствам различных осадков (осадки буровых растворов, коммунальных сточных вод, отходов горно-обогатительной отрасли, гидроокисей и др.); 3) теоретический анализ течения жидкости в открытом шнековом канале, который позволит выбирать конструктивные параметры ротора центрифуги, в зависимости от механо-реологических свойств осадка.

Список литературы: 1. Соколов В.И. Центрифугирование. М.: Химия –1976, 407с. 2. Бочков Ю.Н. Определение производительности по осадку и работоспособности шнековых осадительных центрифуг в зависимости от физических свойств угольной мелочи./ Бочков Ю.Н. // Сб. тр. ВНИИУглеобогащения. – №.30.– М.: Госгортехиздат.–1963. – С. 58–64.

Поступила в редколлегию 09.04.11