

УДК 622.7

Р.Н. Максимов, А.И. Мазко

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ НЕПОДВИЖНОГО СЛОЯ ОСАДКА НА ВИБРИРУЮЩЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены особенности строения слоя осадка по вертикальной вибрирующей фильтрующей перегородке.

Ключевые слова: фильтрация, вибрация, осадок.

Одним из способов интенсификации процесса фильтрации является сообщение вибрации слою осадка, находящемуся на поверхности фильтрующей перегородки [1]. Под действием вибрации происходит постоянный съем части слоя осадка, что позволяет уменьшить толщину слоя осадка, что, в свою очередь, ведет к увеличению производительности процесса фильтрации за счет уменьшения сопротивления системы «осадок-перегородка».

В условиях вибрационного фильтрации, дающих возможность производить непрерывное удаление осадка с фильтрующих поверхностей, интерес представляет применение фильтров-сгустителей с вертикальными плоскими фильтрующими элементами с большой площадью фильтрации.

Исходя из имеющихся представлений об осадке как о неньютоновской жидкости, можно предположить, что слой осадка можно разделить на две части: прилегающую к фильтрующей поверхности неподвижную и движущуюся. Поскольку вибрационное фильтрация — процесс, подразумевающий совместное протекание равных по производительности процессов фильтрации и вибрационного съема осадка, при расчете производительности процесса съема осадка возникает необходимость в определении толщины его неподвижной части, не вовлеченной в перемещение.

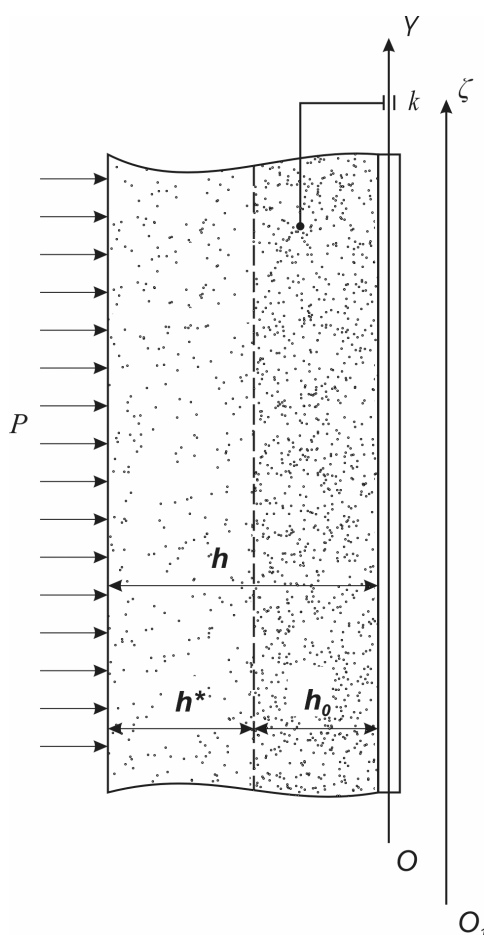


Рис. 1. Модель слоя осадка

Для нахождения толщины неподвижной части слоя осадка рассмотрим слой осадка массой  $m$ , находящийся на поверхности фильтровальной перегородки, площадью  $S$ , совершающей прямолинейные вертикальные гармонические колебания, обладающий следующими характеристиками: вязкостью  $\eta$ , предельным напряжением сдвига  $\tau_0$  и удельным весом  $\rho$ .

Введем подвижную систему координат (рис. 1)  $OY$ , жестко связанную с поверхностью фильтрующего элемента. Наряду с подвижной системой введем неподвижную систему координат  $O_1\xi$ , совпадающую с направлением колебаний фильтрующего элемента. Если считать, что фильтрующий элемент в общем случае совершает колебания по закону  $\xi = A \sin(\omega t)$ , то проекция  $Y$  перемещения фильтрующего элемента на ось неподвижной системы координат определится как:

$$Y = A \sin(\omega t) \quad (1)$$

где  $A$  — амплитуда колебаний, м;  $\omega$  — частота колебаний,  $\text{с}^{-1}$ ;  $t$  — время, с. При движении слоя осадка на поверхности соприкосновения фильтровальной перегородки и осадка возникает касательное напряжение  $\tau$ , равное

$$\tau = \frac{F_{\text{кас}}}{S} = \frac{m(A\omega^2 \sin(\omega t)) + mg - pSk}{S} \quad (2)$$

где  $m$  — масса осадка, кг;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $p$  — перепад давлений, Па;  $S$  — площадь фильтрующего элемента,  $\text{м}^2$ ;  $k$  — коэффициент трения.

В свою очередь масса осадка равна:

$$m = \rho Sh \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность осадка,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $h$  — толщина слоя осадка, м.

Подставляя (3) в (2) и проведя преобразования, получим уравнение для определения касательных напряжений:

$$\tau = \rho((A\omega^2 \sin(\omega t) + g) - pk) \quad (4)$$

Касательные напряжения, возникающие при движении осадка, описываются уравнением Бингама — Шведова:

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dh^*} \quad (5)$$

где  $du/dh^*$  — градиент скорости;  $h^*$  — толщинадвигающегося слоя осадка, м;  $\tau_0$  — начальное сопротивление сдвигу, Па;  $\mu$  — вязкость суспензии, Па·с.

Сравнивая уравнения (4) и (5) получаем:

$$\rho((A\omega^2 \sin(\omega t) + g) - pk) = \tau_0 + \mu \frac{du}{dh^*} \quad (6)$$

Для дальнейших расчетов необходимо определение величин, характеризующих реологические свойства осадка.

Значение  $\tau_0$  определяется экспериментально. Значение вязкости суспензии определяется по формуле Гашека [2]:

$$\mu = \mu_{\text{ж}} \frac{1}{1 - \phi^3}, \quad (7)$$

где  $\mu_{\text{ж}}$  — вязкость жидкой фазы суспензии, Па·с;  $\phi$  — объемная концентрация твердой фазы.

Неподвижным слой осадка остается до тех пор, пока сумма движущих сил (силы тяжести и инерционной силы) не превзойдет сумму сил сопротивления, обусловленных наличием начального сопротивления сдвигу и действием перепада давлений. Для определения толщины неподвижного слоя осадка преобразуем уравнение (6), считая, что градиент скорости  $du/dh^* = 0$ .

$$h_0 \rho (A \omega^2 \sin(\omega t) + g) = pk + \tau_0. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно  $h$  получаем уравнение для определения толщины неподвижного слоя осадка:

$$h_0 = \frac{pk + \tau_0}{\rho (A \omega^2 \sin(\omega t) + g)}. \quad (9)$$

Анализируя полученное уравнение можно утверждать, что минимальная толщина слоя осадка будет соответствовать максимальному значению знаменателя. Максимальное значение знаменателя будет соответствовать моменту времени, когда виброускорение будет максимальным, то есть при условии:

$$\sin(\omega t) = 1. \quad (10)$$

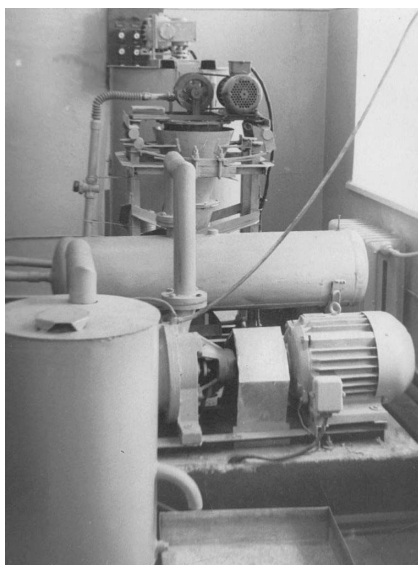
С учетом уравнения (10) минимальная толщина неподвижного слоя осадка составит:

$$h_0 = \frac{pk + \tau_0}{\rho (A \omega^2 + g)}. \quad (11)$$

Может возникнуть предположение, что толщина неподвижного слоя осадка может при некоторых условиях уменьшиться до нуля, после чего слой осадка начнет двигаться, скользя по поверхности фильтрующей перегородки. Несостоятельность такого суждения можно выявить, проанализировав уравнение (9). Для того чтобы произошел переход слоя осадка к скольжению необходимо, чтобы толщина неподвижного слоя осадка была равна нулю. При таком условии уравнение (9) действительного решения иметь не будет, то есть, в этом случае слой осадка будет двигаться вместе с фильтровальной перегородкой.

Для исследования поведения осадка в условиях вибрационного фильтрования использовалась лабораторная установка (рис. 2), состоящая из лабораторного вибрационного вакуум-фильтра, вакуумной установки, мешалки, насоса для подачи суспензии в фильтр.

Лабораторный вибрационный вакуум-фильтр (рис. 3) состоит из опорной рамы 1, на которой жестко закреплена ванна 4, объемом 0,1 м<sup>3</sup>. В нижней части ванны предусмотрена емкость 3 для сбора осадка 4 и разгрузочным патрубком 2 с заслонкой 12. Во внутренней полости ванны 2 установлен съемный фильтрующий элемент 5, внутренняя часть которого через патрубок 11 соединяется с вакуумной установкой через ресивер (на рисунке не показаны). Фильтрующий элемент жестко крепится к раме 7, установленной на



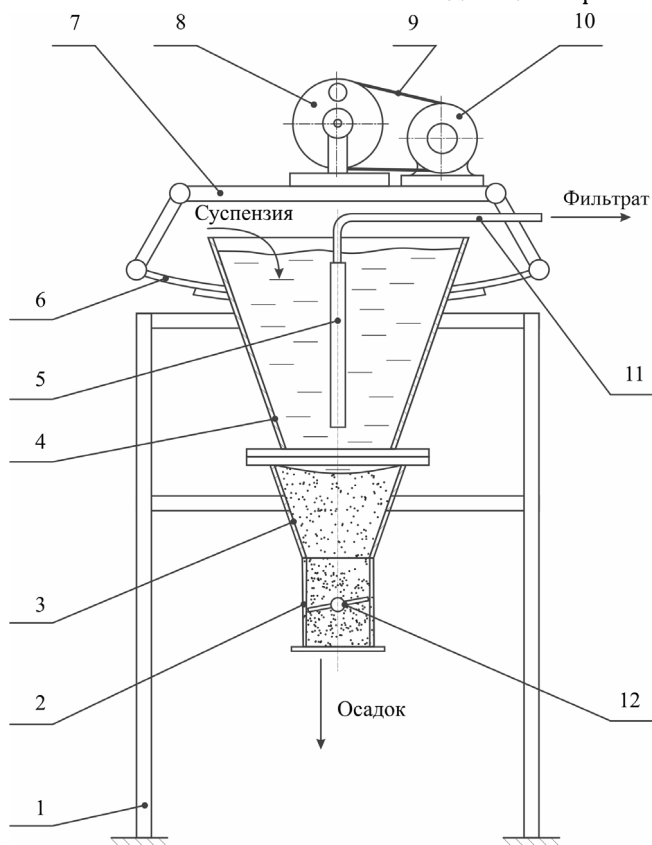
**Рис. 2. Лабораторная установка**

рессорах 6 и получающий вибрационные воздействия от инерционного вибратора 8, приводимого в действие электродвигателем 10 посредством ременной передачи 9. Суспензия подается через открытый верх ванны из мешалки. Фильтрующий элемент представляет собой плоский короб со сплошными боковинами малой ширины и фильтрующей поверхностью из перфорированных металлических листов. Фильтрующий элемент обтянут фильтровальной тканью типа «фильтродиagonal».

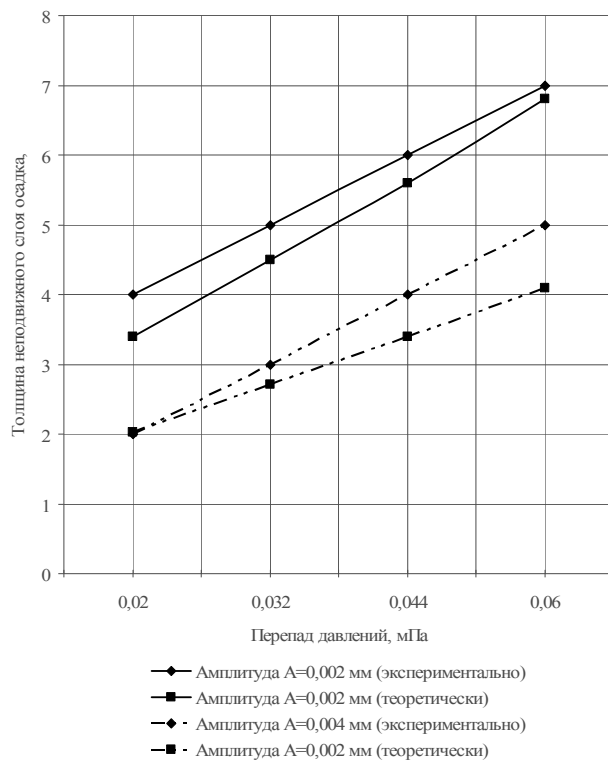
Параметры вибрации фильтрующих элементов во время эксперимента выбирались исходя из того, что в промышленных образцах вибрационных фильтров в качестве возбудителей вибрации планируется использование электромагнитных вибраторов, создающих прямолинейные гармонические колебания с частотой 50Гц.

Эксперименты проводились при разности давлений 0,02...0,06 МПа и амплитудах 0,2 и 0,4 мм.

Измерения проводились следующим образом: после проведения опытного фильтрования в течение 5..6 минут производилась остановка вибраторов и отключение фильтрующих элементов от вакуумной установки. Измерение толщины оставшегося слоя осадка производилось путем погружения в него деревянного щупа и замера оставшихся на щупе следов при помощи штангенциркуля. Результаты измерений приведены на рис. 4. На том же рисунке приведены зависимости толщины неподвижного слоя осадка от амплитуды колебаний и разности перепада давлений, рассчитанное по



**Рис. 3. Лабораторный вибрационный вакуум-фильтр**



**Рис. 4. Зависимость толщины неподвижного слоя от амплитуды колебаний и разности давлений**

подвижного слоя осадка, а увеличение амплитуды колебаний — к уменьшению его толщины.

формуле (11) при  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup>,  $k = 0,012$ ,  $\tau_0 = 110$  Па,  $\omega = 314$  с<sup>-1</sup> [3,4]. Получившееся расхождение между теоретическими и лабораторными данными следует отнести на неточность измерений вследствие неровности слоя осадка.

### Выводы

1. Слой осадка на вибрирующей вертикальной фильтровальной перегородке состоит из двух частей: неподвижной, контактирующей с фильтровальной перегородкой и подвижной.

2. Неподвижная часть слоя осадка при любых условиях остается неподвижной относительно фильтровальной перегородки

3. При одинаковой частоте колебаний увеличение перепада давлений ведет к увеличению толщины не-

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жужиков Виктор Александрович. Фильтрация: Теория и практика разделения суспензий. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1980. — 400с.: ил.
2. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей: Инж. методы расчета/ Пер. с польск. Под ред. П. Г. Романкова. — М.; Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1966. — 535с.: с черт.
3. Справочник по обогащению руд: В 3 т./ Гл. ред. О. С. Богданов. — М.: Недра, 1972. — Т. 2. Ч. 2. — 1974. — 451с.
4. Максимов Н. П., Кибизов С. Г. Экспериментальные исследования режимов работы лабораторной вибрационной установки для сушки кеков // Горный информационно-аналитический бюллетень. — МГГУ. 2002. — № 2. **ИДБ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Максимов Руслан Николаевич — профессор, доктор технических наук,  
Мазко А. И. — аспирант,  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), umr@skgmi-gtu.ru

