

УДК 622.7:534

**О.Л. Дудченко, Г.Б. Федоров**

## **О РЕЗОНАНСНОМ РЕЖИМЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Предложен резонансный режим акустического фильтрации. Это позволяет при значительном снижении энергетических затрат значительно улучшить технологические показатели процесса фильтрации.*

*Ключевые слова: резонансный режим, акустическое фильтрация.*

**В** МГУ разработан виброакустический способ фильтрации промышленных вод от твёрдых взвесей.

Согласно этому способу обрабатываемая суспензия пропускается через фильтровальный элемент при воздействии упругих колебаний.

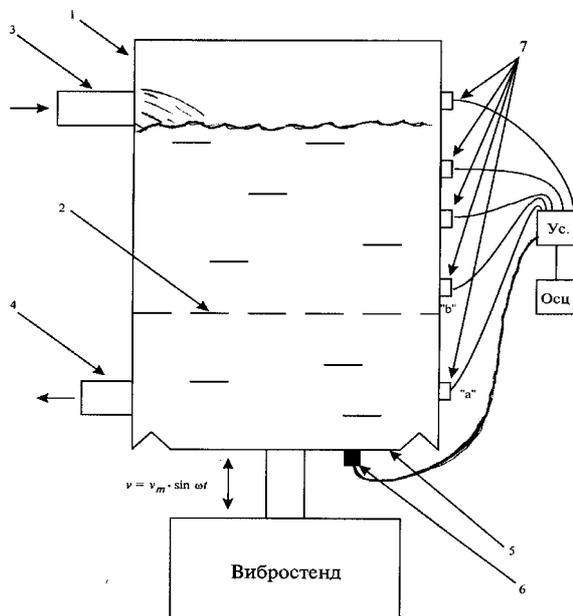
Интенсифицирующее действие виброакустических колебаний в процессах разделения суспензий основано на таких физических эффектах, как противоточная регенерация фильтровального элемента за счёт знакопеременных перепадов давления и пульсирующих потоков жидкости, а также изменения скорости движения твёрдых частиц. В результате чего через фильтроэлемент периодически возникают потоки жидкости, противоположные основному потоку при фильтрации. Так называемые «противоточные потоки», которые восстанавливают пропускную способность фильтра.

Для фильтрации высокодисперсных частиц (порядка 50÷500 микрон) необходимо использование плотных фильтров, имеющих мелкие поры и, соответственно, больше гидродинамические сопротивления. Практика использования подобных фильтров показала, что через них очень сложно орга-

низывать противоточные потоки. Для их возникновения требуются значительные энергетические затраты.

Поэтому целесообразно проанализировать условия возникновения «противоточных потоков» и определить оптимальные условия их возникновения. Для этой цели рассмотрим гидродинамику процесса фильтрации при воздействии виброакустических колебаний.

Исследование распределения давления и движение суспензии при её фильтрации под действием звуковых колебаний проводилось на установке, представленной на рис. 1. Эта установка выполнена в виде цилиндра 1, разделённого фильтровальным элементом 2 на две камеры. Через патрубок 3 от насоса подаётся исходная обратная вода, а через патрубок 4 отводится очищенная вода. В нижней части цилиндра смонтирован колеблющийся поршень 5, установленный на гибких мембранах 6. Поршень приводится в колебание с помощью вибростенда ВЭДС – 200, частотный и динамический диапазоны которого регулируются в широких пределах. На поршне устанавливается датчик 6 (акселерометр ИС – 318), с помощью которого регистрируются частота и амплитуда его колебаний. По высоте



**Рис. 1. Блок – схема экспериментальной установки**

цилиндра вмонтированы мембранные тензометрические датчики 7 давления «ТДДМ», сигналы с которых поступают на усилитель 8АН4 – 7М и шлейфовый осциллограф. С помощью этих датчиков измерялось переменное давление в заданных точках установки.

На первом этапе решалась задача определения динамических и частотных условий образования газо-водяной суспензии. Затем фиксировались моменты установления резонанса в фильтровальной камере и возникновения «противоточных потоков» через фильтровальный элемент. Измерения проводились в диапазоне частот от 5 Гц до 100 Гц. Ускорение изменялось при этом от  $10 \text{ м/с}^2$  до  $100 \text{ м/с}^2$ .

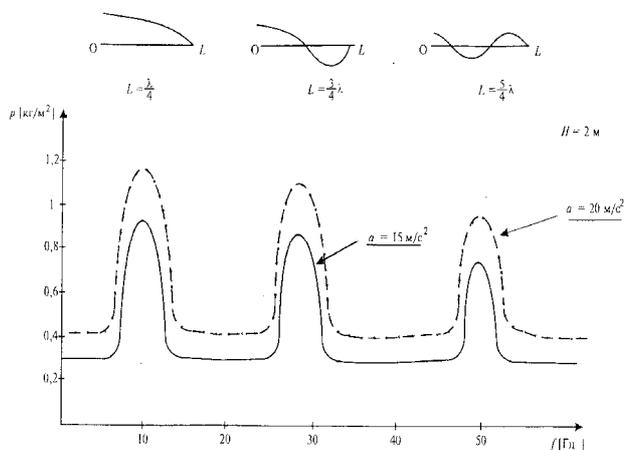
Из полученных результатов следует, что эффект газонасыщения суспензии наступает практически при одних и тех же динамических режимах воздействия виброакустических колебаний – при переменных ускорениях от  $5 \text{ м/с}^2$  до  $18 \text{ м/с}^2$ . Целесообразно

проводить процесс виброакустического фильтрования в резонансном режиме при частотах меньше 50–60 Гц.

В дальнейшем с помощью установленных тензодатчиков определялось распределение давления вдоль столба жидкости при различных режимах воздействия виброакустических колебаний. Полученные данные представлены на рис. 2. Экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы. Действительно, при превышении порогового значения амплитуды колебаний в колеблющемся столбе жидкости образуется устойчивая газожидкостная

суспензия. В такой суспензии наблюдается anomальное падение скорости распространения упругих волн с  $1500 \text{ м/с}$  до  $20\div 30 \text{ м/с}$ . В связи с anomальным падением скорости звука можно возбуждать виброакустические колебания на резонансной частоте даже в ограниченных объёмах жидкости (например, в столбе жидкости высотой от одного метра и выше).

При отсутствии резонанса распределение давления вдоль столба колеблющейся жидкости изменяется по линейному закону  $P = \rho a H$  (где  $H$  – высота столба жидкости,  $\rho$  – плотность суспензии,  $a$  – ускорение колебаний). В резонансном режиме давление увеличивается в 3–5 раз, что может быть с успехом использовано при фильтровании. Добротность такой колебательной системы  $D = 3 - 5$ . На рис. 2 представлены частоты виброакустических колебаний в столбе суспензии высотой 2 метра возникают резонансы. Наблюдаются нечётные резонансы, ко-



**Рис. 2. Возникновение резонансов в суспензии**

гда укладывается четверть, три четверти и т.д. длин волны, т.е.  $\lambda/4$ ;  $3\lambda/4$ ;  $5\lambda/4$  и ... (где  $\lambda$  – длина звуковой волны). Замечено чем выше частота резонанса, тем меньше добротность системы. Учитывая этот факт, а также распределение при различных резонансах, можно сделать вывод, что целесообразно виброакустическое фильтрование проводить на первой гармонике.

Проведённые теоретические исследования позволили получить формулу для резонансных частот колеблющегося столба суспензии

$$f := \frac{2 \cdot n - 1}{4} \cdot \frac{C}{L_0} \quad (1)$$

где  $n=1, 2, 3$  и т.д. – тип резонанса;  $L_0$  – высота колеблющегося столба

водно – воздушной суспензии;  $C$  – скорость звука в суспензии.

Как уже указывалось ранее с энергетической точки зрения целесообразно проводить технологический процесс на первом резонансе. При этом по длине столба должна укладываться четверть звуковой волны, т.е.

$$L_0 = \lambda/4 \quad (2)$$

При резонансе колебательная скорость, переменное давление и, соответственно, скорость противоточных потоков увеличивается в 3 – 5 раз. Это позволяет значительно

улучшить технологические показатели процесса фильтрования и использовать плотные фильтровальные перегородки (металлические сетки двойного саржевого плетения, металлокерамику, бельтинг и т.д.).

Проведённый анализ гидродинамической ситуации показал, что работа на резонансной частоте, можно с высокой эффективностью очищать высокодисперсные оборотные воды горных предприятий. Это связано с тем, что в резонансном режиме можно с минимальными энергетическими затратами организовать надёжную регенерацию плотных фильтровальных материалов и извлекать из суспензий твёрдые частицы даже с размерами в несколько десятков микрон.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шкундин С.З., Федоров Г.Б. «Акустический сепаратор для обезвоживания сланцевых шлаков микронных фракций». Тезисы докладов 8-й международной конференции по ресурсоиспользованию, малоотходных и природоохранных технологиях освоения недр. Талинн, ТТУ, с 246 – 247, 2009 г. **VIAS**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Дудченко Олег Львович – доцент, кандидат технических наук,  
Федоров Геннадий Борисович – доцент, кандидат технических наук,  
Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru