

Франчук В. П.

Шевченко А. Е.

Государственное  
высшее учебное  
заведение  
«Национальный горный  
университет»

Franchuk V. P.

Shevchenko O. Ye.

State Higher Educational  
Institution "National  
Mining University"

УДК 622.794.254

## ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОСАДКОВ ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СТАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

*Статья направлена на освещение результатов теоретических и экспериментальных исследований по обезвоживанию органо-минеральных осадков Черного моря методом фильтрования при комбинированном статическом и динамическом нагружении.*

*На основании теоретических и экспериментальных данных установлена зависимость скорости фильтрования органо-минеральных осадков Черного моря от основных параметров комбинированного статического и динамического нагружения: статической составляющей давления, лежащей в пределах от 1 до 4 МПа; частоте вибрации – от 20 до 60 Гц; времени фильтрования – от 60 до 600 с. Основные результаты исследований представлены в виде графиков зависимостей скорости фильтрования от времени и статической составляющей давления фильтрования. Выполнена оценка эффективности фильтрования органо-минеральных осадков при комбинированном статическом и динамическом нагружении. Установлены значения рациональной частоты вибрации и статической составляющей давления. Полученные результаты можно использовать при разработке вибрационной фильтровальной установки для обезвоживания органо-минеральных осадков.*

**Ключевые слова:** *глубоководные органо-минеральные осадки, фильтрование, обезвоживание, комбинированное статическое и динамическое нагружение, вибрация.*

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день одним из наиболее перспективных направлений является освоение нового вида минерального сырья – глубоководных органо-минеральных осадков (ГВОМО) Черного моря, которые могут использоваться во многих отраслях экономики: в аграрно-химическом комплексе, строительстве, медицине, косметологии [1, 2]. Основной проблемой на пути к промышленному освоению данного вида природных ресурсов является их обезвоживание, что обусловлено мелкодисперсной структурой осадков, повышенной липкостью и влажностью, содержанием органических веществ [1, 3].

Для обезвоживания близких по свойствам к ГВОМО материалов разработано целый ряд фильтровальных аппаратов и устройств [4], работающих при статическом давлении. Общим недостатком указанных устройств является относительно невысокая производительность, повышение которой возможно за счет вибрационного воздействия на обезвоживаемый материал при его одновременном статическом нагружении (использование комбинированного статического и динамического нагружения). Проведенные экспериментальные исследования по обезвоживанию кокколито-



сапропелевой смеси<sup>1</sup> при комбинированном статическом и динамическом нагружении, проводимые на лабораторной вибрационной фильтровальной установке, показали эффективность данного способа обезвоживания ГВОМО по сравнению с фильтрованием при статическом нагружении [5].

Создание фильтровальных устройств, работающих при комбинированном статическом и динамическом нагружении, представляет собой сложную техническую задачу, поэтому большинство проведенных работ так и не вышли за рамки лабораторных исследований.

#### **Нерешенная часть проблемы.**

Исследования процесса фильтрования при комбинированном статическом и динамическом нагружении обезвоживаемого материала, как правило, носят экспериментальный характер. Получение надежных теоретических методов, описывающих этот процесс, затруднительно ввиду большого количества влияющих факторов, в том числе, на микроуровне (ионно-катионный состав воды, толщина двойного электрического слоя на поверхности частиц, размеры пор, форма частиц и др.). Особенности поведения жидкой и твердой фазы при вибрационном воздействии и одновременном статическом нагружении для разных материалов носит разрозненный характер, что обусловило широкое разнообразие математических моделей, получаемых исследователями при изучении процесса обезвоживания.

Для обоснования рациональных параметров вибрационной фильтровальной установки для обезвоживания ГВОМО, необходимо установить зависимость скорости фильтрования ГВОМО от частоты вибрации, амплитуды изменения давления и статической составляющей давления фильтрования, а также провести оценку процесса обезвоживания морских осадков с точки зрения энергоемкости.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Согласно работе [5] процесс обезвоживания суспензии при комбинированном статическом и динамическом нагружении можно представить в виде:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + I(x, t), \quad (1)$$

где  $C$  – влажность суспензии,  $D$  – коэффициент диффузии;  $c$  – коэффициент пористости;  $t$  – время;  $x$  – координата;  $I(x, t)$  – функция источников влаги внутри слоя обезвоживаемого материала. Решение уравнения (1) требует определения начальных и граничных условий, а также определения постоянных параметров  $D$  и  $c$ .

Для описания процесса обезвоживания суспензии при комбинированном статическом и динамическом нагружении Варсановьев В. Д. [6] предлагает использовать зависимость:

$$Q = \frac{dV}{dt} = -\frac{k}{\mu} \frac{G}{\delta} (1 + \lambda), \quad (2)$$

где  $Q$  – расход суспензии;  $V$  – объем фильтрата;  $k$  – проницаемость осадка;  $G$  – масса суспензии;  $\delta$  – высота слоя осадка на фильтровальной перегородке (ФП);  $\lambda$  – интенсивность колебаний.

В зависимости (1) и (2) входят параметры, значения которых находятся опытным путем и которые зависят не только от свойств обезвоживаемого материала, но и от параметров процесса обезвоживания (давления, частоты и др.); кроме того данные зависимости не позволяют определить влияние статической и динамической составляющих давления на процесс обезвоживания суспензии.

В работе [7] приведены зависимости, описывающие поведение жидкости в вертикальном капилляре пористой структуры при комбинированном статическом и динамическом нагружении. Эти зависимости являются сложными и малоприменимыми на практике.

Таким образом, **целью** настоящей работы является установление зависимости скорости фильтрования ГВОМО при комбинированном статическом и динамическом нагружении от частоты вибрации, давления, амплитуды изменения давления, времени фильтрования и свойств материала, а также определение рационального давления фильтрования, частоты вибрации и амплитуды изменения давления.

**Аналитическое исследование процесса фильтрования суспензии при комбинированном статическом и динамическом нагружении.** Рассмотрим колонку суспензии начальным объемом  $V_n$  при нагружении которой в процессе фильтрования образуется фильтрат, объемом  $V$  (рис. 1). При

<sup>1</sup> Кокколито-сапропелевая смесь – смесь кокколито- и сапропелесодержащего илов Черного моря в объемном соотношении 1:1, взята в качестве исходного материала для обезвоживания и соответствует усредненному материалу, добываемому при механической разработке [5].



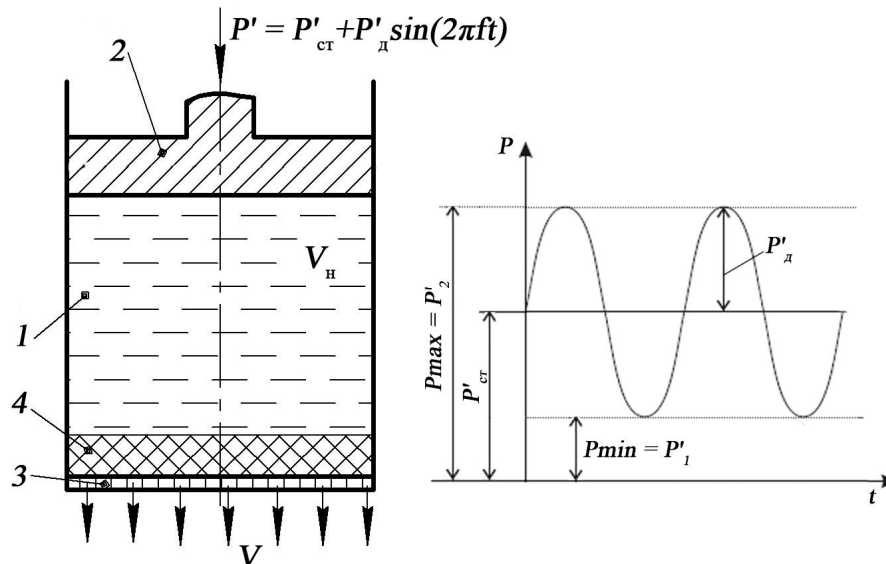
комбинированном статическом и динамическом нагружении давление в суспензии  $P'$  будет изменяться по гармоническому закону от максимального значения  $P'_2$  до минимального  $P'_1$ , а среднее давление в суспензии будет равно статической составляющей давления  $P = P'_{ст}$ . В процессе фильтрования суспензии 1 на ФП 3 образуется осадок 4, толщина которого непрерывно возрастает.

Минимальное  $P'_1$  и максимальное  $P'_2$  давление определяется:

$$P'_1 = P'_{ст} (1 - A);$$

$$P'_2 = P'_{ст} (1 + A);$$

где  $A$  – параметр, численно равен отношению динамической составляющей давления к статической. Для процесса фильтрования суспензии при комбинированном статическом и динамическом нагружении параметр  $A < 1$ .



1 – суспензия; 2 – поршень; 3 – фильтровальная перегородка; 4 – уплотненный слой осадка

Рис. 1. Схема комбинированного статического и динамического нагружения суспензии

Примем следующие допущения: обезвоживаемый материал однородный; удельным сопротивлением ФП можно пренебречь; жидкая фаза обезвоживаемого материала – несжимаемая; не учитывается промежуток времени фильтрования от 0 до 30 с (что связано с перераспределением давления в суспензии [8]). В соответствии с уравнением Дарси [7, 8] для процесса фильтрования при постоянном давлении можно записать:

$$V = S \sqrt{t/M}, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь фильтра;  $M$  – постоянная фильтрования, которая определяется экспериментально по методике, приведенной в [8],  $с/м^2$ .

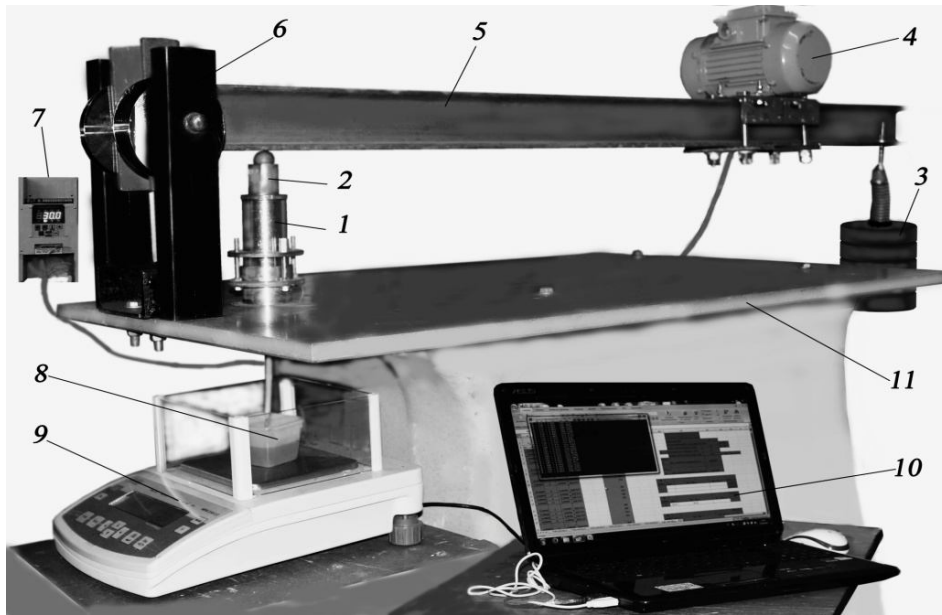
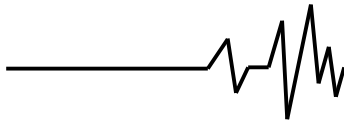
Параметр  $M$  прямо пропорционален проницаемости слоя фильтруемого материала. Для процесса фильтрования суспензии при комбинированном статическом и динамическом нагружении параметр  $M$  представим в виде:

$$M = \varphi(P, f, A), \quad (4)$$

где  $f$  – частота вибрации;  $P$  – среднее давление в суспензии. Зависимость (4) устанавливается экспериментально.

**Основные материалы экспериментальных исследований.** Исследования процесса фильтрования ГВОМО при комбинированном статическом и динамическом нагружении проводились на лабораторном стенде, представленном на рисунке 2. Принцип действия стенда описан в работе [5].

Условия проведения опытов. В качестве обезвоживаемого материала выступала кокколито-сапропелевая смесь, средняя влажность которой составила 69%. В ходе проведения опытов измерялась масса фильтрата, образовавшегося за промежуток времени  $\Delta t = 2$  с в течении 610 с фильтрования и влажность уплотненного слоя осадка в конце каждого опыта. Статическое давление ( $P'_{ст}$ ) варьировалась в пределах от 1 до 4 МПа с шагом 1 МПа; частота вибрации ( $f$ ) – от 20 до 60 Гц с шагом 10 Гц; параметр  $A$  принимался равным 0,3; 0,6 и 0,9.



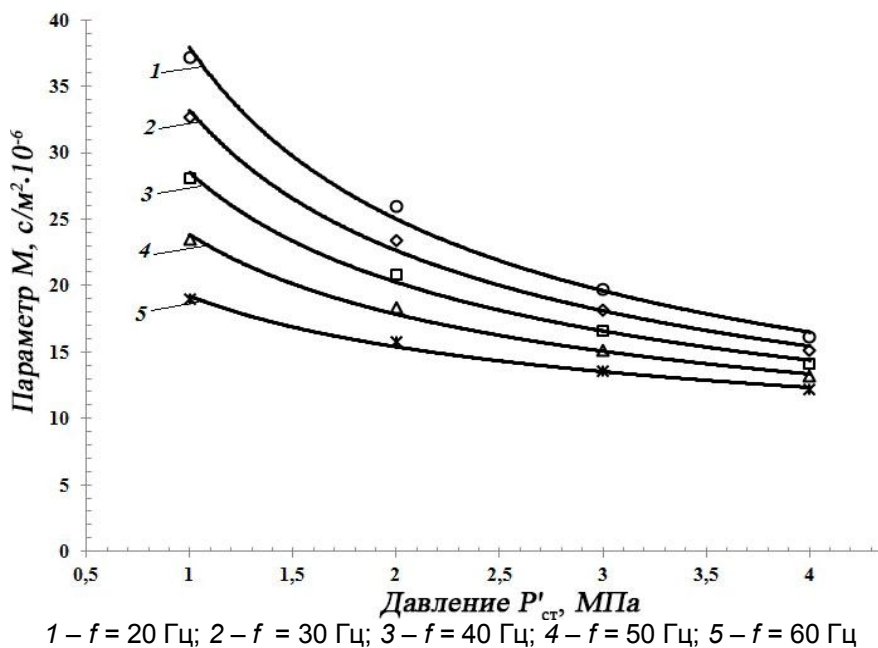
1 – рабочая камера; 2 – шток поршня; 3 – набор грузов; 4 – дебалансный вибровозбудитель; 5 – коромысло; 6 – опора; 7 – преобразователь частоты; 8 – сосуд для сбора фильтрата; 9 – лабораторные электронные весы; 10 – компьютер, 11 – основание

**Рис. 2. Лабораторный стенд для исследования процесса фильтрации ГВОМО при комбинированном статическом и динамическом нагружении**

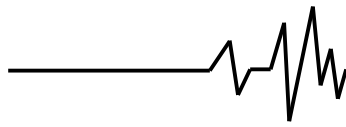
В результате статистического анализа экспериментальных данных, установлено, что параметр  $A$ , изменяющийся в пределах от 0,3 до 0,9, а следовательно и амплитуда изменения давления, незначительно влияет на процесс фильтрации ГВОМО при комбинированном статическом и динамическом

нагружении [5]. Пренебрегая параметром  $A$ , установим эмпирическую зависимость  $M = f(P, f)$ .

По методике, описанной в работе [8], выполнен расчет соответствующих значений  $M$  при заданных значениях частоты  $f$  и давления  $P'_{ст}$ . Данные расчета приведены на рис. 3.



**Рис. 3. Зависимости параметра  $M$  от статической составляющей давления**



Из графиков (рис. 3) видно что, при повышении давления фильтрации влияние частоты вибраций на процесс обезвоживания уменьшается. Повышение частоты вибрации  $f$  приводит к увеличению скорости фильтрации, чему свидетельствует уменьшение параметра  $M$ .

Эмпирическую зависимость  $M = f(P'_{ст})$  можно представить в виде степенной функции:

$$M(P'_{пр}) = \frac{K''}{0,1^{s''} (P'_{пр})^{s''}}, \quad (5)$$

где  $K''$  и  $s''$  – параметры, зависящие от частоты вибрации и свойств материала;  $P'_{пр} = P'_{ст}/P_{атм}$  –

приведенное давление фильтрации (отнесенное к атмосферному,  $P_{атм} = 0,1$  МПа).

Эмпирические зависимости параметров  $K''$  и  $s''$  от частоты вибрации  $f$  представлены на рис. 4 (а, б).

Как видно из графика (рис. 4, а) зависимость параметра  $K''$  от частоты  $f$  можно представить в виде экспоненты:

$$K'' = b' \cdot e^{-a'f}, \quad (6)$$

где  $a' = 0,11$  с – параметр, обратно пропорциональный частоте вибрации;  $b' = 1,834 \cdot 10^{12}$  с/м<sup>2</sup> – параметр, зависящий от свойств ГВОМО.

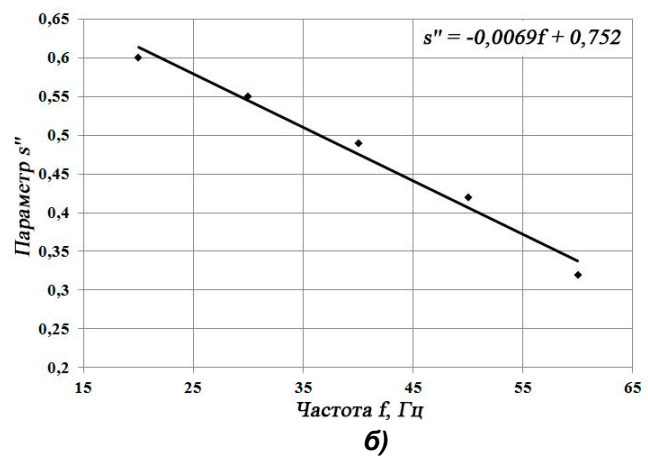
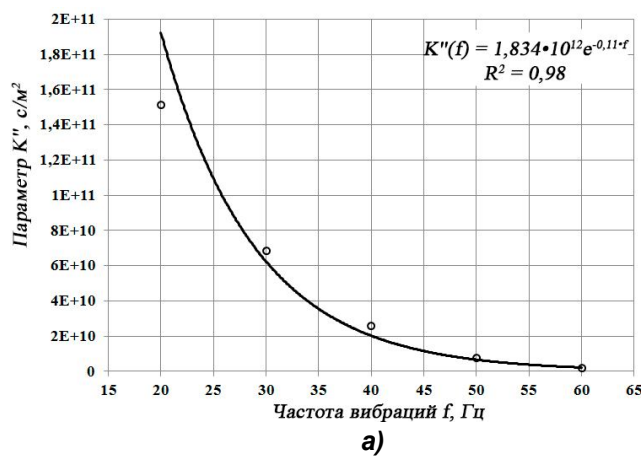


Рис. 4. Зависимости параметров  $K''$  (а) и  $s''$  (б) от частоты вибраций  $f$

Параметр  $s''$  находится в линейной зависимости от частоты вибрации  $f$ , изменяющейся в установленном диапазоне, (рис. 4, б):

$$s'' = b - af, \quad (7)$$

где  $b = 0,752$  – коэффициент;  $a = 0,0069$  с – параметр, зависящий от свойств материала.

С учетом зависимостей (6) и (7), зависимость (3) примет вид:

$$V = S \sqrt{\frac{0,1^{b-af} (P'_{пр})^{b-af} t}{b' \cdot e^{-a'f}}}. \quad (8)$$

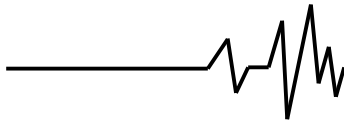
В связи с тем, что при установлении зависимости (8) не учитывался объем фильтрата, образованный за первые 30 с фильтрации (начало процесса), расчетные значения  $V$  (по этой зависимости) выше экспериментальных. Учитывая это, а также разделив слагаемые зависимости (8) на  $S$  получим:

$$V' = \sqrt{\frac{0,1^{b-af} (P'_{пр})^{b-af} t}{b' \cdot e^{-a'f}}} - K_s, \quad (9)$$

где  $V'$  – объем фильтрата, полученный с площади фильтрации  $S$ ;  $K_s = 5 \cdot 10^{-4}$  м (для лаб. фильтра площадью 0,001 м<sup>2</sup>) – параметр, учитывающий начальную фазу фильтрации на лабораторном фильтре площадью  $S$ .

После проведения статистического анализа установлено, что максимальное значение отклонения эмпирических и расчетных по зависимости (9) значений объема фильтрата  $V$  составляет 21% для времени фильтрации 60 с при доверительной вероятности 0,9. С увеличением продолжительности фильтрации значение отклонения уменьшается, например, для времени фильтрации от 400 до 600 с относительное отклонение составляет не более 6%.

Продифференцировав зависимость (9) по времени и выполнив соответствующие преобразования, получена зависимость скорости фильтрации кокколито-сапропелевой смеси  $V_s = dV/(Sdt)$  при комбинированном статическом и динамическом нагружении от статической составляющей давления, изменяющегося в диапазоне от 1 до 4 МПа, и частоты вибрации – от 20 Гц до 60 Гц:



$$V'_s = \frac{e^{a'f} \cdot 0,1^{b'-af} (P'_{\text{мп}})^{b'-af}}{2b' \sqrt{t \cdot e^{a'f} \cdot 0,1^{b'-af} (P'_{\text{мп}})^{b'-af}}} \cdot b'$$

На рис. 5 представленны зависимости скорости фильтрации ГВОМО от времени при статической составляющей давления 1 и 2 МПа и частоте вибрации 0 (статика); 20 и 60 Гц.

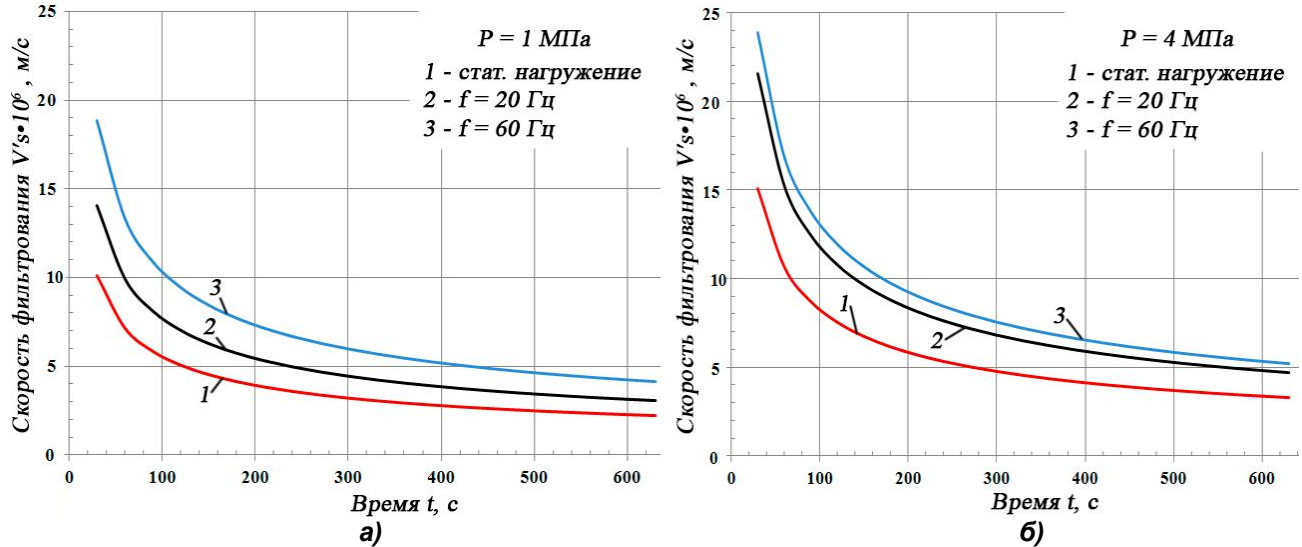


Рис. 5. Зависимости скорости фильтрации кокколито-сапропелевой смеси от времени: а) при давлении 1 МПа; б) при давлении 4 МПа

Как видно из графиков (рис. 5) скорость фильтрации кокколито-сапропелевой смеси при комбинированном нагружении значительно выше, чем при статическом давлении. При давлении 1 МПа и частоте вибраций 20 Гц скорость фильтрации на 39,4% выше, чем при соответствующем статическом нагружении (при  $f = 0$ ), а для частоты вибрации 60 Гц – на 87,0%; при давлении 4 МПа соответствующее повышение

скорости фильтрации составило для частоты 20 Гц – 42,8%, для частоты 60 Гц – 58,1%.

На рисунке 6 приведены зависимости относительного повышения скорости фильтрации (относительно процесса фильтрации при статическом нагружении) ГВОМО от статической составляющей давления фильтрации для частоты 20 - 60 Гц.

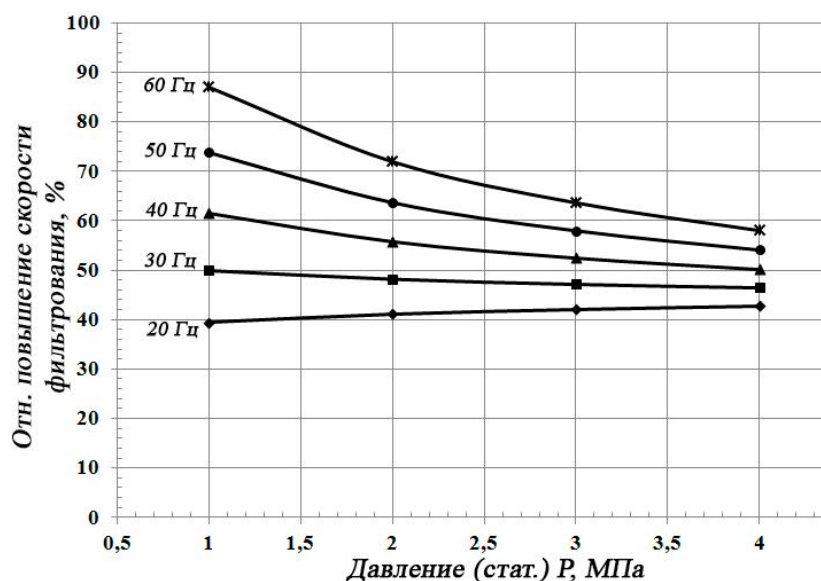
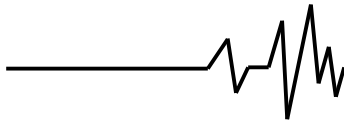


Рис. 6. Зависимость относительного повышения скорости фильтрации ГВОМО от давления





Из графиков (рис. 6) видно, что при частоте вибрации от 20 до 30 Гц скорость фильтрации при комбинированном статическом и динамическом нагружении в среднем на 45% выше, чем при статическом нагружении (без вибрации). Для частот от 40 до 60 Гц при повышении статического давления от 1 до 4 МПа прирост скорости фильтрации уменьшается от 87% (для частоты 60 Гц) до 50% (для частоты 40 Гц).

Большинство промышленных дебалансных вибровозбудителей обеспечивают частоту вибрации 50 Гц, которая соответствует паспортным характеристикам двигателя 3000 об/мин или частоте тока сети 50 Гц. Регулирование частоты вибрации можно осуществлять при помощи частотных преобразователей (таким образом, проводилась регулировка частоты при выполнении исследований). Поскольку с увеличением частоты вибрации возрастает скорость фильтрации, для обеспечения максимальной удельной производительности вибрационной фильтровальной установки частота вибрации должна быть максимальной (50 - 60 Гц).

Для обоснования рационального давления фильтрации кокколито-сапропелевой суспензии при комбинированном статическом и динамическом нагружении выполнена оценка процесса фильтрации с точки зрения энергоёмкости.

В процессе фильтрации ГВОМО на вибрационной фильтровальной установке при образовании фильтрата объемом  $V$  под действием усилия  $F'$  поршень переместится на

расстояние  $h$ . Работа силы  $A_F$ , затрачиваемая на перемещение поршня, запишется в виде [9]:

$$A_F = \int_0^h F' dh. \quad (10)$$

При комбинированном статическом и динамическом нагружении усилие  $F'$  будет равно среднему усилию  $F'_{ст}$  (создаваемому давлением  $P'_{ст}$ ). Тогда работа, определяемая по (10) запишется, как  $A_F = F'h$ . Умножив и разделив второе слагаемое последней зависимости на площадь фильтра  $S$ , получим:  $A_F = PV$ .

Энергия  $W_F$ , затрачиваемая на образование фильтрата (или осадка высотой  $h$  и влажностью  $W_{ос}$ ) в единицу времени определяется:

$$W_F = \frac{A_F}{t} = \frac{PV}{t}.$$

Для времени  $t = 180; 300$  и  $600$  с получены зависимости энергии  $W_F$ , затрачиваемой в единицу времени на обезвоживание единицы объема ГВОМО до конечной влажности 50% и скорости фильтрации  $V'_s$  от статической составляющей давления  $P$  для частоты 60 Гц (рис. 7, а) и 20 Гц (рис. 7, б).

С увеличением продолжительности обезвоживания единицы объема ГВОМО скорость фильтрации уменьшается (рис. 7), что приводит к уменьшению затрачиваемой энергии в единицу времени. Увеличение давления приводит к повышению скорости фильтрации, а также к повышению энергоёмкости процесса.

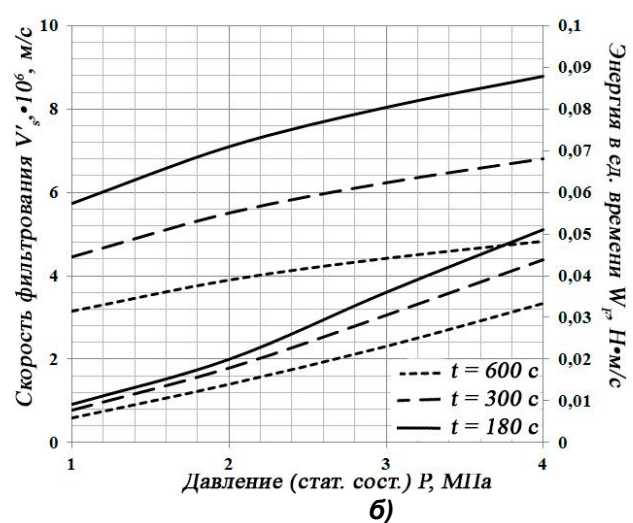
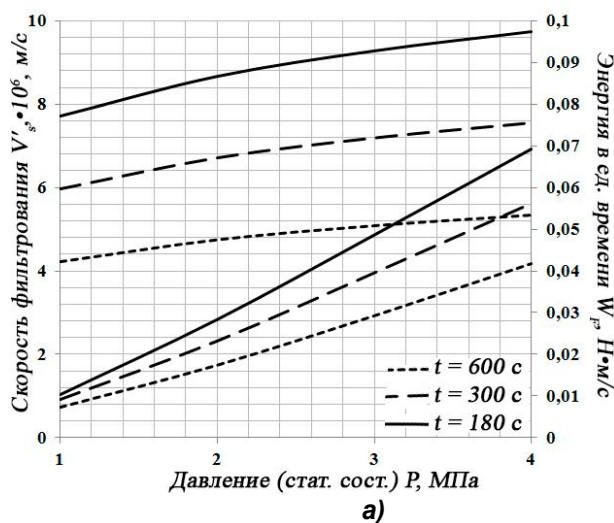
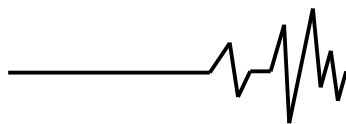


Рис. 7. Зависимости скорости фильтрации и затрачиваемой мощности от статической составляющей давления: а) при частоте 60 Гц; б) при частоте 20 Гц



При давлении 4 МПа и частоте вибрации 60 Гц скорость фильтрации кокколито-сапропелевой смеси на 30% выше, чем при давлении 1 МПа (при той же частоте), а энергоемкость процесса выше в 4,5 раза; при частоте вибрации 20 Гц скорость фильтрации выше на 54%, а энергоемкость процесса – в 3,4 раза соответственно. Исходя из этого, для обезвоживания ГВОМО при комбинированном статическом и динамическом нагружении рациональное давление фильтрации, соответствующее минимальной энергоемкости процесса, составляет 1 МПа.

### Выводы

1. Для процесса фильтрации кокколито-сапропелевой смеси при комбинированном статическом и динамическом нагружении на плоской ФП получена полуэмпирическая зависимость скорости фильтрации от давления, частоты вибрации и свойств материала. Установленная зависимость может использоваться для расчета скорости фильтрации при статической составляющей давления, изменяющейся в диапазоне от 1 до 4 МПа, частоте вибрации – от 20 до 60 Гц, времени фильтрации – от 60 до 600 с.

2. По результатам статистической обработки данных установлено, что значения максимальных отклонений расчетных и экспериментальных данных для процесса обезвоживания ГВОМО при статическом и комбинированном статическом и динамическом нагружении составляет 21% для времени фильтрации 60 с при доверительной вероятности  $\alpha = 0,9$ . С увеличением продолжительности фильтрации значение отклонения уменьшается.

3. Для случая фильтрации ГВОМО при комбинированном статическом и динамическом нагружении, при увеличении частоты вибрации от 20 до 60 Гц средняя скорость фильтрации при статическом давлении 1 МПа повышается от 39% до 87% относительно производительности фильтра, работающего при статическом нагружении; при давлении 4 МПа – от 43% до 58%.

4. При обезвоживании кокколито-сапропелевой смеси при комбинированном статическом и динамическом нагружении рациональным давлением фильтрации является давление 1 МПа. Повышение давления от 1 до 4 МПа приводит к увеличению энергоемкости процесса обезвоживания в 3,4 раза при частоте вибрации 20 Гц и 4,5 раза при частоте вибрации 60 Гц, повышение скорости

фильтрации соответственно составляет 54% и 32,5%.

5. Рациональная частота вибрации из диапазона от 20 до 60 Гц для процесса обезвоживания кокколито-сапропелевой смеси при комбинированном статическом и динамическом нагружении находится в пределах от 50 до 60 Гц.

### Список использованных источников

1. Drebenstedt C. Sapropel in the Black Sea – Prospect for an unconventional raw material / C. Drebenstedt, T. Shepel, O. Shevchenko // World of Mining – Surface & Underground (67). – 2015. – № 1. – p-p. 19-29.

2. Димитров Д. П. Некоторые результаты применения глубоководных органо-минеральных осадков дна Черного моря для агротехнических целей / Д. П. Димитров, Г.Ц. Георгиев, П.С. Димитров // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2006. – № 1. – С. 74-80.

3. Шнюков Е. Ф. Минеральные богатства Черного моря / Е. Ф. Шнюков, А. П. Зиборов. – Киев: «Карбон-ЛТД», 2004. – 290 с.

4. Tarleton E. S. Solid/Liquid Separation – Equipment Selection and Process Design / E. S. Tarleton, R. J. Wakeman. – Elsevier. – 2007. – 448 p.

5. Франчук В. П. Использование вибрационного воздействия для повышения эффективности фильтрации глубоководных органо-минеральных осадков Черного моря / В. П. Франчук, А. В. Анциферов, А. Е. Шевченко // Вибрации в технике и технологиях. – №3 (75). – 2014 г. – с. 136-144.

6. Варсанюфьев В. Д. Вибрационная техника в химической промышленности / В. Д. Варсанюфьев, Э. Э. Кольман-Иванов. – М.: Химия, 1985. – 240 с., с ил.

7. Белоглазов И. Н. Основы расчета фильтрационных процессов / И.Н. Белоглазов, В.О. Голубев. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», Санкт-петербург, 2002. – 210 с., ил.

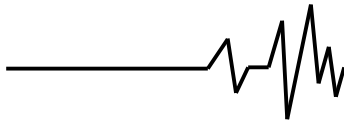
8. Жужиков В. А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий / В. А. Жужиков. – М.: Химия. – 1980. – 398с.

9. Кухлинг Х. Справочник по физике: пер. с нем. 2-е изд. / Х. Кухлинг. – М.: Мир. – 1985. – 520 с., ил.

### Список источников в транслитерации

1. Drebenstedt C. Sapropel in the Black Sea – Prospect for an unconventional raw material / C. Drebenstedt, T. Shepel, O. Shevchenko //





World of Mining – Surface & Underground (67). – 2015. – № 1. – p-p. 19-29.

2. Dimitrov D. P. Nekotore rezultati primeneniya glybokovodnih organo-mineralnih osadkov dna Chernogo moria dlia agrotehnicheskikh tseley / D. P. Dimitrov, G. Ts. Georgiev, P. C. Dimitrov // Geologiya i poleznie iskopaemie Mirovogo okeana. – 2006. – № 1 – S. 74-80.

3. Shnyukov E. F. Mineralnyie bogatstva Chernogo morya / E. F. Shnyukov, A. P. Ziborov. – Kiev: «Karbon-LTD», 2004. – 290 s.

4. Tarleton E. S. Solid/Liquid Separation – Equipment Selection and Process Design / E. S. Tarleton, R. J. Wakeman. – Elsevier. – 2007. – 448 p.

5. Franchuk V. P. Ispolzovanie vibratsionnogo vozdeystviya dlya povsheniya effektivnosti filtrovaniya glubokovodnyih organo-mineralnyih osadkov Chernogo morya / V. P. Franchuk, A. V. Antsiferov, A. E. Shevchenko // Vibratsii v tehnike i tehnologiyah. – № 3 (75). – 2014 g. – s. 136-144.

6. Varsanofev V. D. Vibratsionnaya tehnika v himicheskoy promyshlennosti / V. D. Varsanofev, E. E. Kolman-Ivanov. – M.: Himiya, 1985. – 240 s., s il.

7. Beloglazov I. N. Osnovy rascheta filtratsionnyih protsessov / I. N. Beloglazov, V. O. Golubev. – M.: Izdatelskiy dom «Ruda i Metalliy», Sankt-peterburg, 2002. – 210 s., il.

8. Zhuzhikov V. A. Filtrovaniye. Teoriya i praktika razdeleniya suspenziy / V. A. Zhuzhikov. – M.: Himiya. – 1980. – 398s.

9. Kuhling H. Spravochnik po fizike: per. s nem. 2-e izd. / H. Kuhling. – M.: Mir. – 1985. – 520 s., il.

#### **ЗНЕВОДНЕННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ВІДКЛАДЕНЬ ЧОРНОГО МОРЯ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ СТАТИЧНОМУ ТА ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

**Анотація.** Стаття направлена на освітлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень зі зневоднення органічно-мінеральних відкладень Чорного моря методом фільтрування при комбінованому статичному та динамічному навантаженні.

На підставі теоретичних та експериментальних даних встановлена залежність швидкості фільтрування органічно-мінеральних відкладень Чорного моря від

основних параметрів комбінованого статичного та динамічного навантаження: статичної складової тиску, яка знаходиться в діапазоні від 1 до 4 МПа; частоті вібрації – від 20 до 60 Гц; часу фільтрування – від 60 до 600 с. Основні результати досліджень представлені у вигляді графіків залежностей швидкості фільтрування від часу та статичної складової тиску фільтрування. Виконано оцінку ефективності фільтрування органічно-мінеральних відкладень при комбінованому статичному і динамічному навантаженні. Встановлено значення раціональної частоти вібрації і статичної складової тиску. Отримані результати можна використовувати для розробки вібраційної фільтрувальної установки для зневоднення органічно-мінеральних відкладень.

**Ключові слова:** глибоководні органічно-мінеральні відкладення, фільтрування, зневоднення, комбіноване статичне та динамічне навантаження, вібрація.

#### **DEWATERING ORGANIC MINERAL SEDIMENTS OF THE BLACK SEA UNDER COMBINED STATIC-AND-DYNAMIC LOADING**

**Annotation.** The paper is aimed at the presentation of the theoretical and experimental results of investigations on dewatering deep-sea organic-mineral sediments by its filtration under the combined static-and-dynamic loading.

On the basis of the theoretical and experimental data the dependency of filtering rate while dewatering the organic-mineral sediments on both filtration and vibration parameters was developed. The dependency is acceptable for the following boundary conditions: the static pressure is in the range from 1 to 4 MPa; the vibration frequency – from 20 to 60 Hz; the filtration time – from 60 to 600 s. The main results of investigation are shown as the graphical dependences of the filtration rate on time and static component of the filtration pressure. The efficiency of the process of filtration under the combined static-and-dynamic loading was established. The rational vibration frequency and static pressure component were determined. The results might be used while developing vibration filtering apparatus for dewatering organic-mineral sediments.

**Key words:** deep-sea organic-mineral sediments, filtration, dewatering, static-and-dynamic loading, vibration.