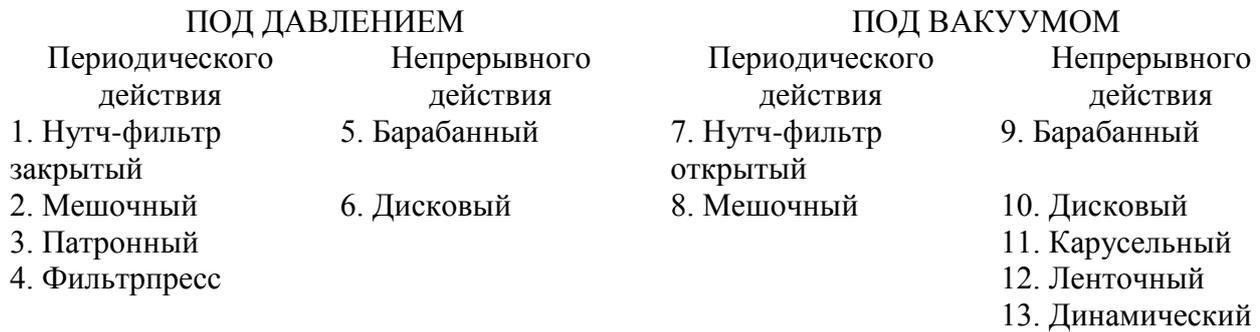


ФИЛЬТРОВАНИЕ

Классификация фильтров

ФИЛЬТРЫ



Различают перегородки.

- а/ Тканевые – сукно, бязь, бельтинг, лавсан и др.
- б/ Металлические – сталь, легированная сталь, латунь и др.
- в/ Керамические – фарфор, поролит и др.
- г/ Зернистые – кварцевый песок, мрамор, уголь, известняк и др.

Различают осадки.

- а/ Несжимаемые – кварцевый песок, кристаллы солей и др., размер частиц больше 100 мкм.
- б/ Сжимаемые – студни, гели, гидроокиси и др., размер частиц меньше 10 мкм.

Для рассмотрения теории фильтрования принимаем закрытый нутч-фильтр при допущении, что осадок и фильтровальная перегородка являются несжимаемыми.

Схема фильтра представлена на рис. 53.

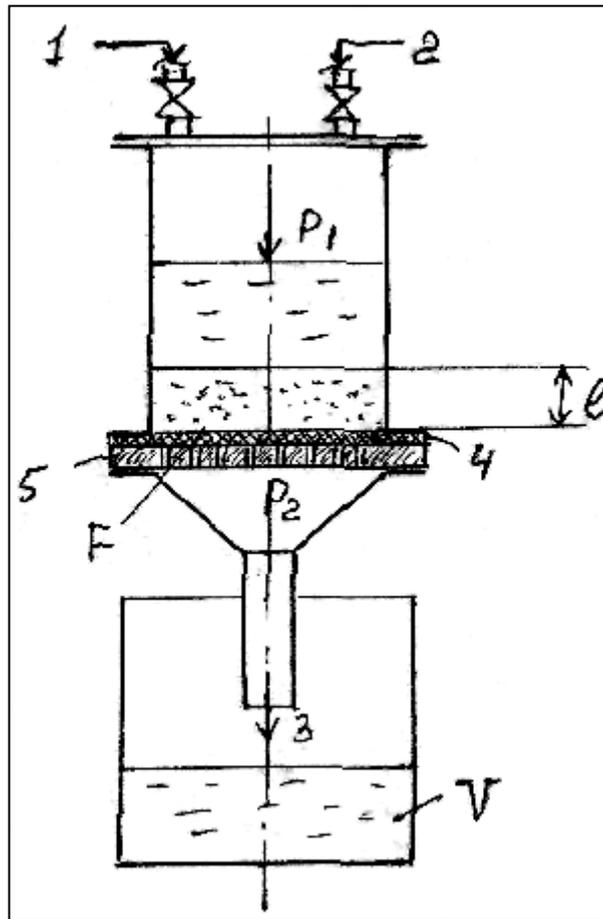


Рис. 53. Схема закрытого нутч-филтра.

1 – суспензия, 2 – сжатый воздух, 3 – фильтрат, F – сечение филтра, l – высота слоя осадка, p_1, p_2 – давление, V – объем полученного филтра, 4 – ткань /сукно/, 5 – дырчатый диск.

Движущая сила процесса филтрования

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad \text{Па} \quad /26/$$

Скорость филтрования

$$W = \frac{dV}{F \cdot d\tau} \quad \text{м/с} \quad /27/$$

Обозначим:

x – доля осадка в 1 м³ филтра.

Из рис. 53. следует, что

$$F \cdot l - \text{объем осадка в м}^3.$$

Тогда

$$F \cdot l = V \cdot x; \quad x = \frac{F \cdot l}{V} \quad /28/$$

Обозначим:

$$q = \frac{V}{F} - \text{удельная производительность фильтра, м}^3/\text{м}^2. \quad /29/$$

Тогда

$$l = \frac{V \cdot x}{F} = q \cdot x \quad /30/$$

Для скорости фильтрования применяем основную кинетическую закономерность

$$W = \frac{dV}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot (R_{oc.} + R_{\phi.n.})} \quad /31/$$

где μ – вязкость фильтрата, Па.с,

$R_{oc.}$ – сопротивление слоя осадка, 1/м,

$R_{\phi.n.}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, 1/м.

Представляем

$$R_{oc.} = r \cdot l \quad /32/$$

где r – удельное сопротивление слоя осадка, 1/м².

С учетом /30/ имеем

$$W = \frac{dV}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \left(r \cdot \frac{V \cdot x}{F} + R_{\phi.n.} \right)} \quad /31a/$$

Или

$$\mu r x \cdot V dV + \mu F \cdot R_{\phi.n.} \cdot dV = \Delta p \cdot F^2 \cdot d\tau \quad /33/$$

Выражение /33/ представляет дифференциальное уравнение процесса фильтрования. Различают следующие режимы фильтрования.

1. Режим постоянного давления, $\Delta p = \text{const}$ /основной промышленный режим/.

Интегрируем уравнение /33/ от 0 до V и от 0 до τ .

$$\mu r x \int_0^V V dV + \mu \cdot R_{\phi.n.} \cdot F \int_0^V dV = \Delta p \cdot F^2 \int_0^{\tau} d\tau$$

$$\mu r x \cdot \frac{V^2}{2} + \mu \cdot R_{\phi.n.} \cdot F \cdot V = \Delta p \cdot F^2 \cdot \tau$$

Умножаем на 2 и делим на $\mu r x F^2$

$$\left(\frac{V}{F} \right)^2 + 2 \frac{\mu \cdot R_{\phi.n.} \cdot F}{\mu r x \cdot F^2} \cdot V = \frac{2 \Delta p \cdot F^2}{\mu r x \cdot F^2} \cdot \tau$$

$$\left(\frac{V}{F} \right)^2 + 2 \frac{R_{\phi.n.}}{r x} \cdot \left(\frac{V}{F} \right) = \frac{2 \Delta p}{\mu r x} \cdot \tau$$

Обозначим константы

$$C = \frac{R_{\text{ф.п.}}}{r\chi}; \quad K = \frac{2 \cdot \Delta p}{\mu r\chi}$$

С учетом /29/ получаем

$$q^2 + 2 \cdot C \cdot q = K \cdot \tau \quad /34/$$

Уравнение /34/ широко применяется в расчетной практике, в частности для элементного моделирования. Например, константы С и К, а также продолжительность фильтрования τ , полученные на лабораторном открытом нутч-филт্রে, позволяют сразу рассчитать поверхность промышленного барабанного вакуум-филтра по формуле

$$F = \frac{V_0 \cdot \rho_{\text{сусп.}} \cdot (1 - \frac{x_0}{x_2}) \cdot \tau}{\rho_{\text{ж}} \cdot 0,35[-C + \sqrt{C^2 + K \cdot \tau}]} \quad /35/$$

где V_0 – производительность филтра по водной суспензии, м³/с,
 x_0, x_2 – содержание твердой фазы в суспензии и осадке, % масс.,
 $\rho_{\text{сусп.}}$; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность суспензии и филтрата, кг/м³.

Конструкция барабанного вакуум-филтра представлена на рис. 54-56.

Уравнение /34/ является квадратичным, что не совсем удобно для обработки опытных данных. Поэтому его преобразовывают.

Уравнение /34/ делим на $K \cdot q$ и запишем наоборот

$$\frac{\tau}{q} = \frac{1}{K} \cdot q + \frac{2C}{K}$$

Обозначим новые константы

$$A = \frac{1}{K} = \frac{\mu r\chi}{2 \cdot \Delta p}; \quad B = \frac{2C}{K} = \frac{\mu \cdot R_{\text{ф.п.}}}{\Delta p}$$

Тогда получим

$$\frac{\tau}{q} = A \cdot q + B \quad /36/$$

Выражение /36/ является уравнением прямой линии. Опытные данные по уравнению /36/ представляются на графике, который показан на рис. 57.

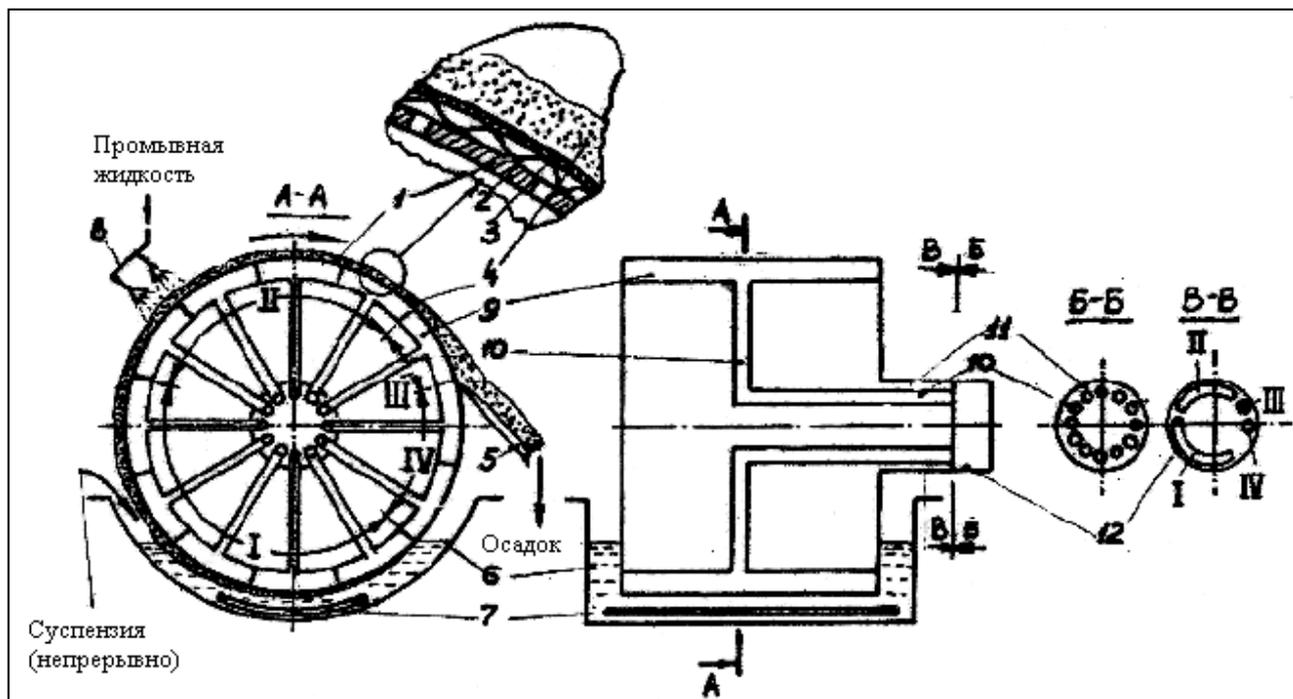


Рис. 54. Барабанный вакуум-фильтр.

1. Медленно вращающийся металлический барабан с отверстиями. 2. Волнистая проволочная сетка. 3. Фильтровальная ткань. 4. Осадок на барабане. 5. Нож для съема осадка. 6. Корыто для суспензии. 7. Качающаяся мешалка. 8. Устройство для подвода промывной жидкости. 9. Камеры барабана. 10. Трубы, объединенные во вращающуюся часть 11 распределительной головки, поочередно соединяющие камеры 9 барабана 1 с секциями неподвижной части 12 распределительной головки.

Зоны, в которые поочередно попадают секции барабана при вращении: I – фильтрация и отсоса фильтрата; II – промывки осадка и отсоса промывных вод; III – разрыхления и отдувки осадка сжатым воздухом; IV – очистки ткани продувкой воздухом или паром.

Секции неподвижной части распределительной головки: I – сообщающаяся с приемником фильтрата, находящимся под вакуумом; II – сообщающаяся с приемником промывных вод, также находящимся под вакуумом; III – сообщающаяся с источником сжатого воздуха; IV – сообщающаяся с источником сжатого воздуха или водяного пара.

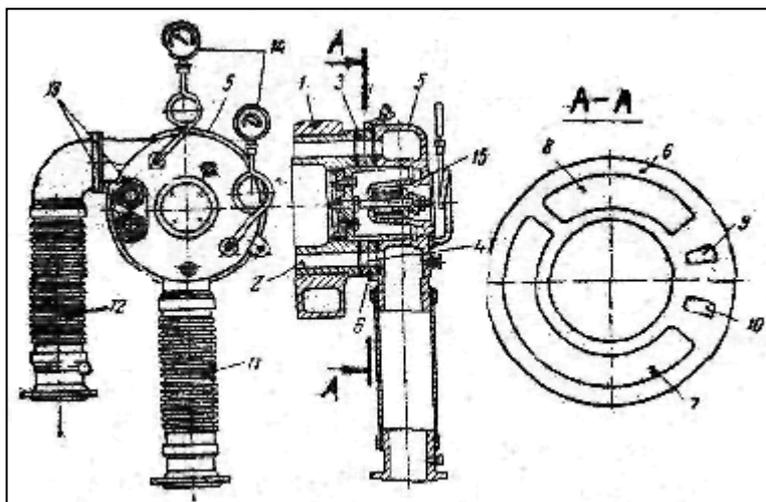


Рис. 55. Распределительная головка барабанного вакуум-фильтра.

1. Вращающаяся цапфа. 2. Соединительные трубы. 3. Вращающаяся шайба. 4. Отверстия во вращающейся шайбе. 5. Неподвижный корпус. 6. Неподвижная съемная шайба. 7-10. Прорезы в неподвижной шайбе, соответствующие секциям I-IV на рис. 32. 11. Трубопровод для удаления фильтрата. 12. Трубопровод для удаления промывной жидкости. 13. Трубопроводы для подачи сжатого воздуха и пара. 14. Вакуумметры. 15. Пружина.

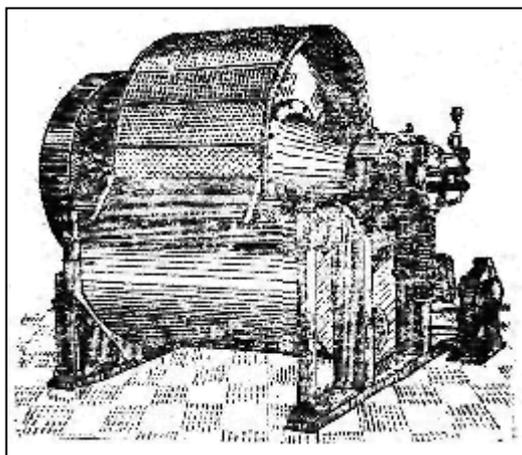


Рис. 56. Барабанный вакуум-фильтр со снятой фильтровальной тканью.

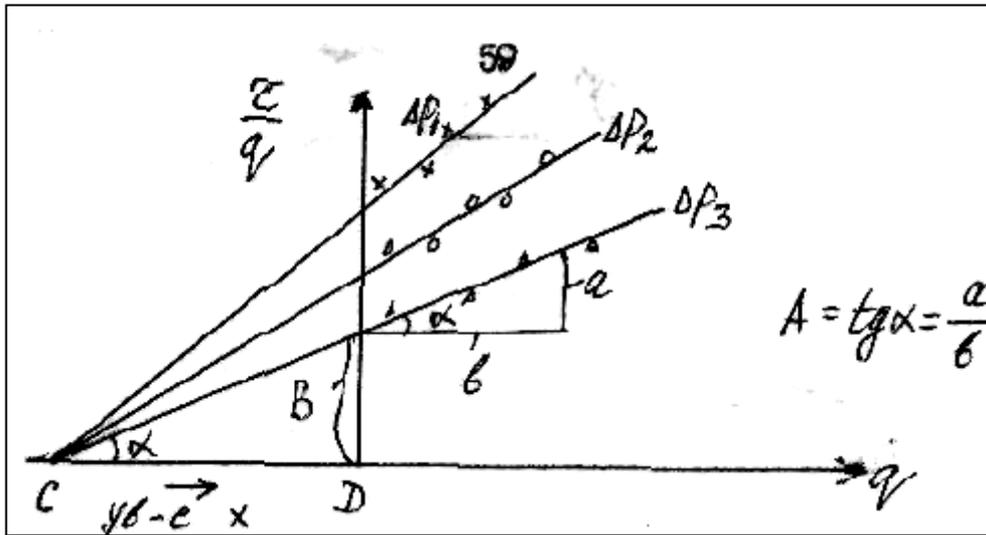


Рис. 57. График для обработки опытных данных по фильтрованию при постоянном давлении.

Представлены три опыта, для которых $\Delta p_3 > \Delta p_2 > \Delta p_1$, а доля осадка "x" у всех опытов одинакова.

Для одного опыта из графика определяют отрезок B и тангенс A. Далее рассчитывают сопротивление фильтровальной перегородки.

$$R_{\text{ф.п.}} = \frac{\Delta p \cdot B}{\mu} \quad /37/$$

Удельное сопротивление слоя осадка

$$r = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot A}{\mu \cdot x} \quad /38/$$

Запишем выражение для отрезка CD /рис. 57/

$$CD = \frac{B}{\text{tg} \alpha} = \frac{B}{A} = \frac{\mu \cdot R_{\text{ф.п.}} \cdot 2 \cdot \Delta p}{\Delta p \cdot \mu x} = \frac{2 \cdot R_{\text{ф.п.}}}{rx} \quad /39/$$

Как видно из /39/, величина отрезка CD не зависит от Δp , поэтому при постоянном "x" прямые линии всех трех опытов на рис. 57 сойдутся в одной точке C. С увеличением "x" отрезок CD будет уменьшаться.

В режиме постоянного давления возрастает толщина слоя осадка, следовательно, возрастает сопротивление, что согласно уравнению /31/ уменьшает скорость фильтрования.

2. Режим постоянной скорости.

В этом случае $W = \frac{V}{F \cdot \tau} = \text{const}$.

В уравнении /33/ отбрасываем знаки дифференциала

$$\mu \cdot rx \cdot V^2 + \mu \cdot R_{\text{ф.п.}} \cdot F \cdot V = \Delta p \cdot F^2 \cdot \tau$$

Делим на $F^2 \cdot \tau$ и записываем наоборот

$$\Delta p = \frac{\mu \cdot r_x \cdot V^2}{F^2 \cdot \tau} + \frac{\mu \cdot R_{\text{ф.п.}} \cdot F \cdot V}{F^2 \cdot \tau}$$

Или

$$\Delta p = \mu r_x W q + \mu R_{\text{ф.п.}} W$$

Обозначим константы

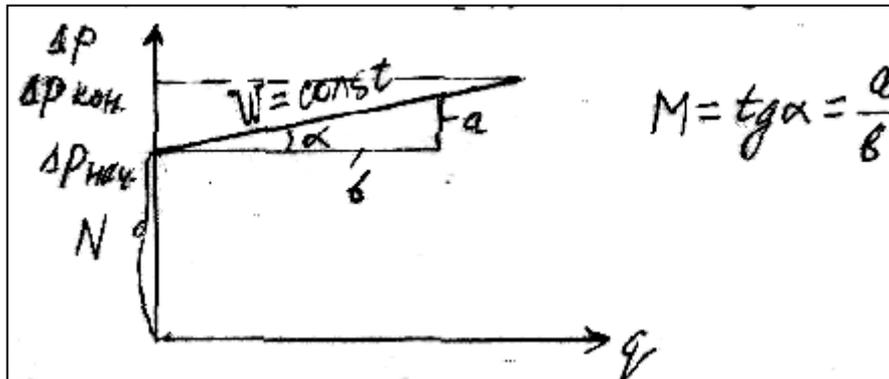
$$M = \mu \cdot r \cdot x \cdot W; \quad N = \mu \cdot R_{\text{ф.п.}} \cdot W$$

Тогда получим уравнение

$$\Delta p = M \cdot q + N$$

Уравнение
графически

/40/
/40/



представлено на рис. 58.

Рис. 58. График для обработки опытных данных по фильтрованию при постоянной скорости.

Из графика определяются отрезок N и тангенс M.

Сопротивление фильтровальной перегородки

$$R_{\text{ф.п.}} = \frac{N}{\mu \cdot W} \quad /41/$$

Удельное сопротивление слоя осадка

$$r = \frac{M}{\mu \cdot x \cdot W} \quad /42/$$

Для обеспечения постоянной скорости фильтрования необходимо увеличивать движущую силу от Δp нач. до Δp кон. синхронно увеличению $R_{\text{ос.}}$ /т.е. / согласно уравнению /31/, что не совсем удобно для практики /для закрытых фильтров толщина слоя осадка не просматривается/.

3. Режим постоянного давления и постоянной скорости.

Применяется для промывки осадка методом вытеснения фильтрата из пор осадка. В этом случае

$$\Delta p = \text{const}; \quad W = \frac{V}{F \cdot \tau} = \text{const}.$$

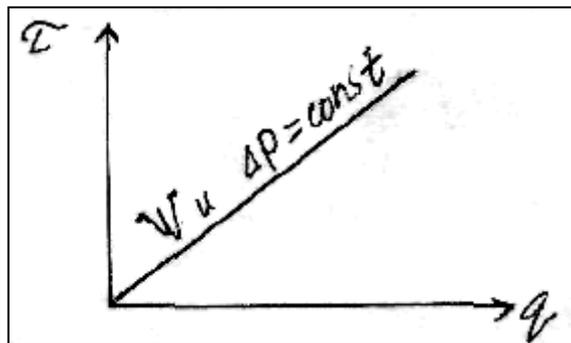
Уравнение /31/ принимает вид:

$$\frac{V}{F \cdot \tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_{\text{ос}} + R_{\text{ф.п.}})}$$

Откуда

$$\tau = \frac{\mu \cdot (R_{\text{ос}} + R_{\text{ф.п.}})}{\Delta p} \cdot q \quad /43/$$

Уравнение /43/ представлено на рис.



59.

графически

Рис. 59. График для обработки опытных данных по фильтрованию при постоянном давлении и постоянной скорости.

До сих пор рассматривалось идеальное фильтрование для несжимаемых осадка и фильтровальной перегородки. В действительности они могут быть сжимаемы.

Учет сжимаемости осадка.

Проводится уравнением

$$r = r_0 \cdot \Delta p^S \quad /44/$$

где S – показатель сжимаемости, $S = 0 - 1$, реже $S > 1$,
 r_0 – удельное сопротивление слоя осадка при $\Delta p = 1$.
 Зависимость /31/ будет иметь вид:

$$\frac{dV}{F \cdot d\tau} = W = \frac{\Delta p}{\mu(r_0 \cdot \Delta p^S \cdot l + R_{\text{ф.п.}})} \quad /45/$$

Уравнение /45/ графически представлено на рис.60.

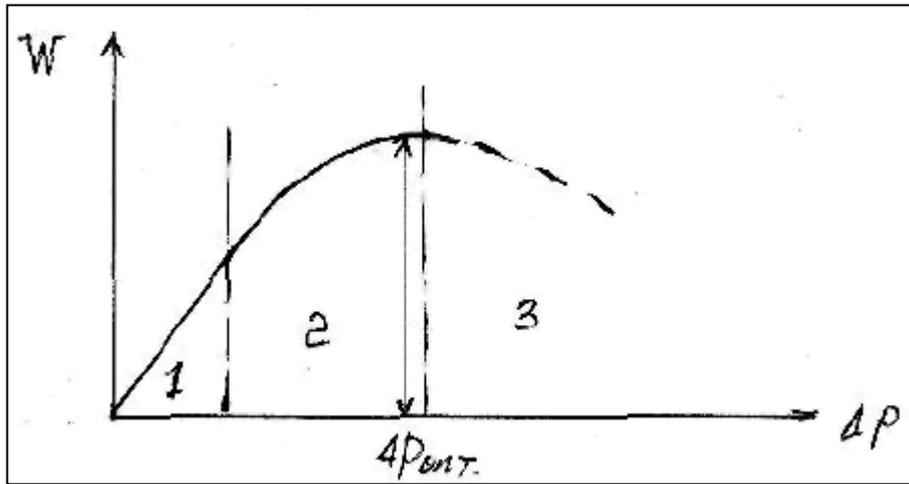


Рис. 60. Графическое представление скорости фильтрации с учетом сжимаемости осадка.

1 – для несжимаемого осадка, 2 – для сжимаемого осадка, 3 – малоизученная область.

Из графика на рис. 60 определяется оптимальная движущая сила фильтрации $\Delta p_{\text{опт}}$.

Учет сжимаемости фильтровальной перегородки.

Производится уравнением

$$R_{\text{ф.п.}} = R'_{\text{ф.п.}} \cdot \Delta p^k \quad /46/$$

Тогда уравнение /31/ примет вид

$$W = \frac{\Delta p}{\mu(r_0 \cdot \Delta p^s \cdot 1 + R'_{\text{ф.п.}} \cdot \Delta p^k)} \quad /47/$$

С учетом сжимаемости осадка и фильтровальной перегородки уравнение /47/ на графике рис. 58 примет вид, показанный на рис. 61.

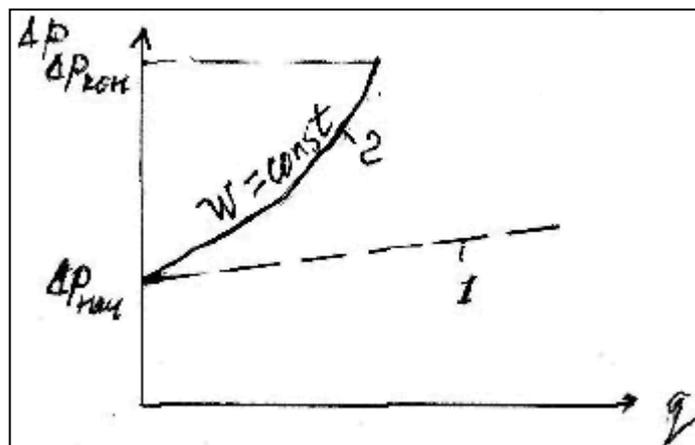


Рис. 61. Учет сжимаемости осадка и фильтровальной перегородки для режима постоянной скорости фильтрации.

1 – для несжимаемых осадка и фильтровальной перегородки,

2 – для сжимаемых осадка и фильтровальной перегородки.

В этом случае потребуется существенное увеличение перепада давлений для обеспечения постоянной скорости фильтрования.

Пути интенсификации процесса фильтрования

По уравнению /31/ скорость фильтрования

$$W = \frac{dV}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(r \cdot l + R_{\text{ф.п.}})}$$

Откуда следуют три способа увеличения скорости фильтрования:

- 1/ увеличение движущей силы до Δp опт. /для сжимаемых осадков/,
- 2/ уменьшение вязкости фильтрата μ путем увеличения температуры /горячее фильтрование/,
- 3/ уменьшение толщины слоя осадка l /в динамических фильтрах осадок вообще отсутствует, там проводится сгущение суспензий/.

Другие методы фильтрования.

До сих пор рассматривалось фильтрование с образованием осадка. Возможно фильтрование с закупориванием пор фильтровальной перегородки. Закономерности фильтрования с закупориванием пор изучены слабо и расчеты проводятся на основе опытных данных.

К фильтрованию без образования осадка относят также ультрафильтрование и обратный осмос.

Ультрафильтрование – процесс концентрирования растворов высокомолекулярных веществ /молекулярная масса больше 500/ с одновременной их очисткой от низкомолекулярных веществ /очистка коллоидных растворов, масел и др., задерживаются частицы до 1/30 мкм/. Применяется давление 0,3-1 МПа.

Обратный осмос – процесс концентрирования раствора /включая все растворенные компоненты/ с одновременным выделением чистого растворителя /обессоливание воды/.

Фильтровальные перегородки – пористые мембраны /ацетат целлюлозы и др./.

Ультрафильтрование и обратный осмос относятся к процессам на молекулярном уровне, поэтому являются компетенцией курса физической химии.