

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ

Общие положения

В основе расчета проектируемых, а также оценки работы действующих горизонтальных отстойников лежат скорость осаждения естественной или коагулированной взвеси u_0 (гидравлическая крупность), а также осаждаемость этой взвеси (или эффект осаждения) P .

Гидравлическая крупность взвеси u_0 , мм/с, выпадающей в осадок из слоя воды высотой h , мм, за время t , с, определяется выражением

$$u_0 = h / t_i, \quad (5.1)$$

где $i = 1, 2, 3 \dots, n$ — номера исследуемых проб.

Осаждаемость взвеси представляет собой отношение веса выпавшего осадка к количеству взвеси в воде, поступающей на отстаивание:

$$P_i = \frac{WM_{\text{исх}} - WM_1}{WM_{\text{исх}}} \cdot 100, \quad (5.2)$$

где W — объем исследуемой пробы воды, отобранной в цилиндре из верхнего слоя высотой h , мм, л;

$M_{\text{исх}}$ — мутность исходной воды, мг/л;

M_i — мутность воды в исследуемой пробе объемом W после выпадения взвеси в течение времени t_i , мг/л.

Для расчетов пользуются формулой:

$$P_i = \frac{M_{\text{исх}} - M_1}{M_{\text{исх}}} \cdot 100. \quad (5.3)$$

Зависимость количества взвешенных веществ P , выпавших в осадок, от гидравлической крупности u_0 дает полное представление об осаждении и может быть выражена кривой выпадения взвеси:

$$P = f(u_0) = f(h/t). \quad (5.4)$$

Методика моделирования процесса осаждения основана на подобию кривых выпадения взвеси для различных высот столба исследуемой воды. Задачей лабораторных определений является построение кривой осаждения взвеси с целью определения гидравлической крупности u_0 и времени пребывания воды в отстойнике для заданного эффекта осаждения $P_{\text{расч}}$.

При расчете горизонтальных отстойников в соответствии со СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения (актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*) гидравлическая крупность u_0 необходима для расчета площади горизонтальных отстойников F , а также их длины L .

Реактивы, приборы, посуда

1. Спектрофотометр UNICO 2100.
2. Флокулятор «Floculator SW6».
3. Цилиндры стеклянные 500 мл — 5 шт.
4. Палочки стеклянные или полиэтиленовые.
5. Сифон из стеклянных трубок и силиконовой трубки (рис. 4.1).
6. Груша-спринцовка медицинская с мягким носиком.
7. Емкость для хранения имитата мутных вод (ведро или таз).
8. Кружка фарфоровая и полиэтиленовая на 0,5 л.
9. Стакан мерный на 250 мл с делениями.
10. Суспензия мела для приготовления имитата мутных природных вод.

Ход определения параметров горизонтальных отстойников

В исследуемой воде, содержащей естественную взвесь, определяют количество взвешенных веществ (мутность).

Пять цилиндров ($n = 5$) заполняют исследуемой водой в количестве по 0,5–1,0 л в зависимости от емкости цилиндра и оставляют для отстаивания. Время отстаивания для всех цилиндров различно (табл. 4.1).

По истечении заданного для каждого цилиндра времени отстаивания верхний слой воды на глубину h , см, соответствующую объему 100 мл,

декантируют в коническую колбу (см. рис. 5.1), и определяют в этой пробе содержание взвешенных веществ (мутность).

Таблица 5.1

Продолжительность отстаивания воды в цилиндрах

Номер цилиндра	Время отстаивания, мин
1	15
2	30
3	45
4	60
5	75

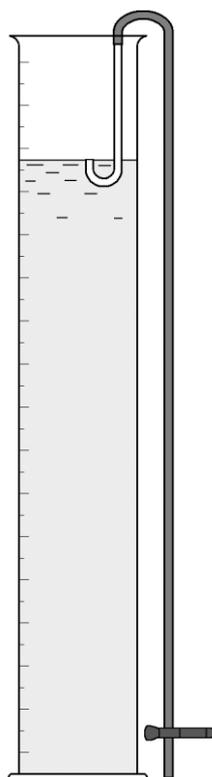


Рис. 5.1. Цилиндр с сифоном для декантирования

Осаждаемость взвеси (P) для каждого цилиндра рассчитывают по формуле (5.3), гидравлическую крупность u_0 — по формуле (5.1). Результаты сводят в табл. 5.2.

По данным табл. 5.2 строят кривые выпадения взвеси $P_i = f(t_i)$ и $P_i = f(u_0)$, $i = 1, 2, \dots, 5$, по которым определяют гидравлическую крупность u_0 , соответствующую требуемому эффекту осаждения $P_{расч}$. Характер кривых показан на рис. 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2

Экспериментальные данные для построения кривой выпадения взвеси

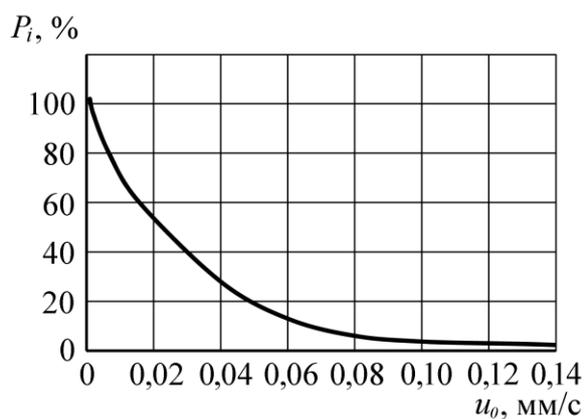
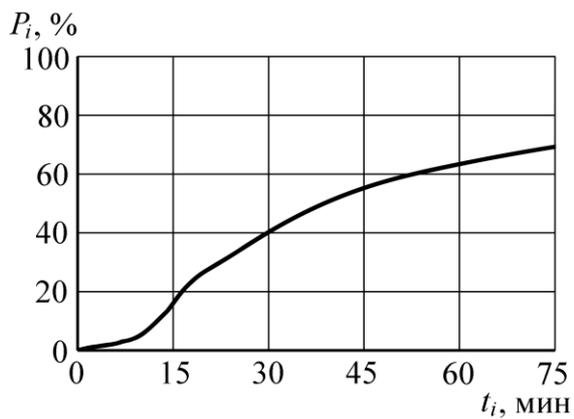
Номер цилиндра	Мутность исходной воды $M_{исх}$, мг/л	Время отстаивания, t_i , мин	Мутность после отстаивания $M_{ост}$, мг/л	Осаждаемость взвеси, %	Гидравлическая крупность, мм/с
1		15			
2		30			
3		45			
4		60			
5		75			

Аналогичные опыты проводят для воды, обработанной коагулянтом. Для этого, по методике, приведенной в работе №1, определяют оптимальную дозу коагулянта. В цилиндры добавляют коагулянт в количестве, соответствующем найденной оптимальной дозе, воду быстро перемешивают на флокуляторе в течение 15...20 с, а затем медленно (30...40 об/мин) в течение 3–5 мин.

Заданный процент осаждения взвеси рассчитывают по формуле:

$$P_{рас} = \frac{M_{исх} - M_{ост}}{M_{исх}} \cdot 100\%, \quad (5.5)$$

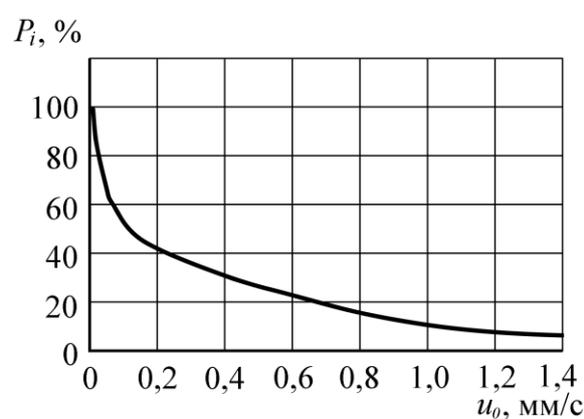
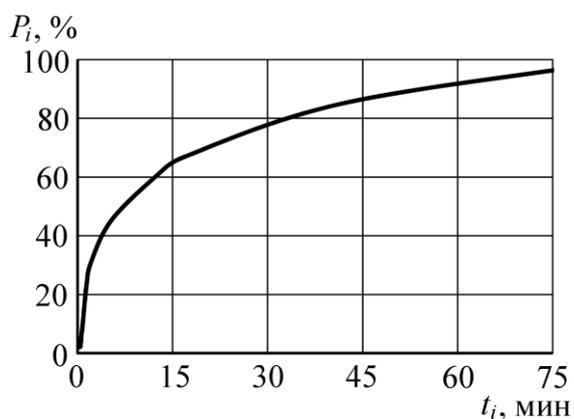
где $M_{ост}$ — допустимая остаточная мутность в отстоянной воде, которую принимают равной 8–12 мг/л.



a)

б)

Рис. 5.2. График зависимости количества выпавших в осадок взвешенных веществ от времени отстаивания (а) и гидравлической крупности выпавшей на данный момент взвеси (б) для воды, не обработанной коагулянтом



a)

б)

Рис. 5.3. График зависимости количества выпавших в осадок взвешенных веществ от времени отстаивания (а) и гидравлической крупности выпавшей на данный момент взвеси (б) для воды, обработанной коагулянтом

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ФИЛЬТРУЮЩИХ ЗАГРУЗОК

Общие положения

Правильный подбор фракционного состава и степени неоднородности фильтрующего материала имеет большое значение для нормальной работы фильтров. Отклонение гранулометрического состава загрузки от надлежащего ведет к увеличению расхода промывной воды, сокращению межпромывочного периода работы фильтра, к увеличению эксплуатационных затрат на водоподготовку.

Имея набор калиброванных сит, можно определить следующие основные параметры; характеризующие гранулометрический состав фильтрующей загрузки:

1) эквивалентный диаметр зерен $d_{\text{ЭКВ}}$, мм, который равен:

$$d_{\text{ЭКВ}} = \frac{100}{\sum \frac{P_i}{d_k}}, \quad (6.1)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ — номер сита;

P_i' — количество материала рассеиваемой пробы, оставшееся на сите калибром d_k , %;

n — количество сит в наборе;

2) коэффициент неоднородности фильтрующей загрузки, равный

$$K_n = d_{80} / d_{10}, \quad (6.2)$$

где d_{80} — калибр сита, через которое прошло 80 % фильтрующего материала;

d_{10} — калибр сита, через которое прошло 10 % фильтрующего материала.

Приборы, аппараты

1. Набор калиброванных сит $d_k = 0,5-2,0$ мм (число сит не менее 5).
2. Загрузка из кварцевого песка (1,5 кг).

3. Весы аналитические.
4. Весы технические.
5. Сушильный шкаф, обеспечивающий температуру 105 °С.

Ход определения параметров фильтрующей загрузки

На технических весах взвешивают 300 г фильтрующей загрузки и помещают её в сушильный шкаф для высушивания при температуре 105 °С до постоянного веса. Из высушенной пробы для ситового анализа отбирают навеску 200 г, взвешивая её с точностью до 0,01 г. Затем производят рассев этой навески на калиброванных ситах с диаметрами отверстий 0,5–2,0 мм.

Материал, оставшийся на сите каждого калибра, взвешивают.

Результаты ситового анализа сводят в табл. 6.1. Пример записи результатов анализа приведен там же.

Эквивалентный диаметр находят по формуле (6.3). Для данного примера:

$$d_{\text{экв}} = \frac{100}{\frac{1,1}{1,52} + \frac{3,2}{1,31} + \frac{5,5}{1,1} + \frac{39,1}{0,92} + \frac{41,8}{0,7} + \frac{8,3}{0,51}} = 0,79 \text{ мм} . \quad (6.3)$$

По данным табл. 5.1 строят график в координатах: калибр сита (абсцисса) — количество песка, прошедшего через сито (ордината) — рис. 6.1. Определяя по графику значение d_{80} и d_{10} , вычисляют коэффициент неоднородности K_H по формуле (6.3).

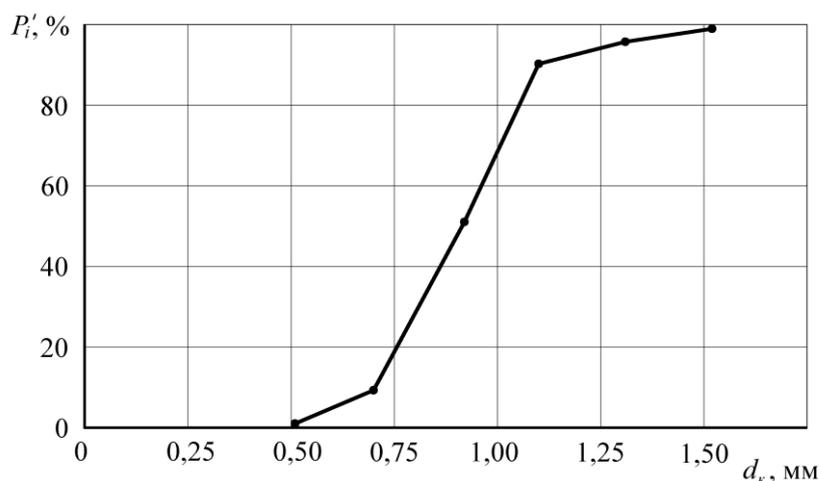


Рис. 6.1. График ситового анализа фильтрующей загрузки

**Экспериментальные результаты ситового анализа
фильтрующей загрузки**

Калибр сита d_k , мм	Остаток на сите P_i'		Количество материала, прошедшее через сито P_i'		d_{10} , мм	d_{80} , мм	K_H
	г	%	г	%			
1,52	2,2	1,1	197,8	98,9			
1,31	6,4	3,2	191,4	95,7			
1,10	11,0	5,5	180,4	90,2			
0,92	78,3	39,1	102,1	51,1			
0,70	83,5	41,8	18,6	9,3			
0,51	16,6	8,3	2,0	1,0			
	198,0	99,0			0,72	1,08	1,5

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ И ГРЯЗЕЕМКОСТИ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ

Общие положения

В процессе фильтрования наступает момент, когда задерживаемая способность фильтрующей загрузки становится уже недостаточной для обеспечения требуемой степени осветления воды. С этого момента содержание взвешенных веществ в фильтрате начинает резко возрастать. Изменение концентрации взвешенных веществ на выходе из фильтрующей загрузки характеризуется выходными кривыми $M = f(t)$ (рис. 7). Время, в течение которого фильтрующая загрузка в состоянии снижать концентрацию взвешенных веществ в осветляемой воде до требуемых норм, называется продолжительностью защитного действия загрузки t_3 .

Грязеёмкость загрузки Γ , г/м³, представляет собой отношение количества взвешенных веществ, задержанных фильтрующей загрузкой за время t_3 , к объёму фильтрующей загрузки:

$$\Gamma = \frac{(M_{\text{исх}} - M_{\text{ф}}^{\text{cp}}) \cdot W_{\text{ф}}}{V_3} \quad (7.1)$$

где $M_{\text{исх}}$ – мутность воды, поступающей на фильтрование, г/м³; $M_{\text{ф}}^{\text{cp}}$ – средняя мутность фильтрата, г/м³; $W_{\text{ф}}$ – объём фильтрата, накопленный за время t_3 , м³; V_3 – объём загрузки, м³.

Аппараты, приборы, посуда

1. Установка лабораторная с моделью фильтра ($d_{\text{ф}} = 50$ мм; $h_{\text{ф}} = 1,0$ м; $h_3 = 0,5$ м) – 1 шт.
2. Колбы конические 250 или 500 мл – 4 шт.
3. Цилиндр мерный стеклянный на 100 или 200 мл.

4. Секундомер.
5. Спектрофотометр UNICO 2100.
6. Сборный бак.
7. Емкость для хранения имитата мутных вод (ведро или таз).
8. Кружка фарфоровая и полиэтиленовая на 0,5 л.
9. Суспензия мела для приготовления имитата мутных природных вод.

Ход определения параметров работы фильтров

Схема лабораторной установки с моделью фильтра показана на рис. 7.1. Вода из бака исходной воды **1** подается насосом **2** через бачок для поддержания постоянного уровня **3** в модель фильтра **4**, излишки воды сливаются обратно в бак. Фильтрат поступает в сборный бак **5**. Потери напора контролируются по двум пьезометрам **6**.

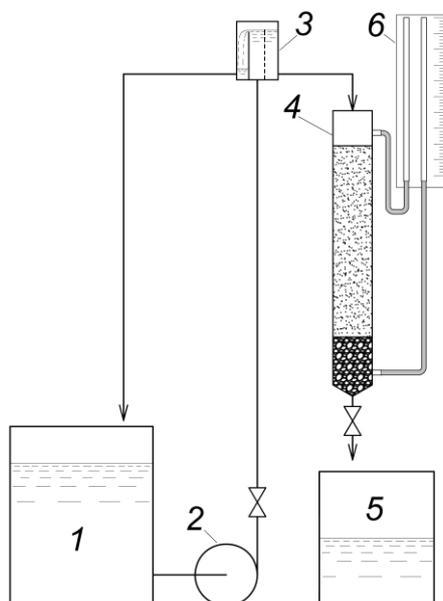


Рис. 7.1. Схема лабораторной установки:

1 – бак исходной воды; 2 – насос; 3 – бачок для поддержания постоянного уровня; 4 – модель фильтра; 5 – сборный бак фильтрата; 6 – пьезометры

В исследуемой воде определяют мутность $M_{исх}$. Затем воду пропускают через модель фильтра диаметром d_f и высотой загрузки h . Скорость фильтрования поддерживают в пределах 5–6 м/ч. Для измерения скорости

пользуются мерным цилиндром и секундомером. Объем фильтрата, соответствующий скорости фильтрования 5 м/ч, составит: $8,33 \cdot F$ мл/мин (F – площадь фильтрования, для колонки диаметром 5 см – $19,6 \text{ см}^2$).

Фильтрат собирают в мерный бак, определяя мутность в профильтрованной воде через каждые 15 мин. Результаты определения записывают в табл. 7.1. По этим данным строят выходную кривую $M_{\phi} = f(t)$, по которой определяют время защитного действия загрузки t_3 (см. рис. 7.2). Грязеемкость загрузки рассчитывают по формуле (7.1), предварительно замерив объем фильтрата W_{ϕ} и определив в нем усредненную мутность M_{ϕ}^{cp} .

Таблица 7.1

Экспериментальные данные для построения выходной кривой

Время работы фильтра t , мин	Мутность фильтрата M_{ϕ} , мг/л
15	
30	
45	
60	

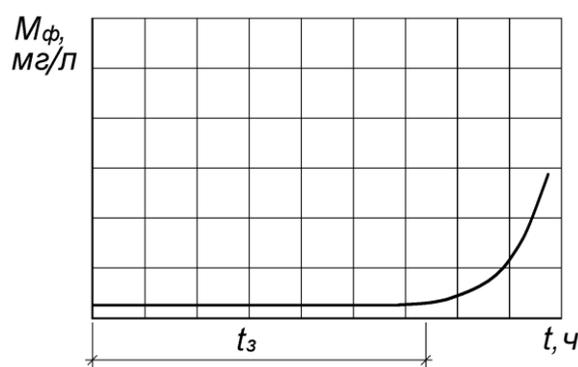


Рис. 7.2. Зависимость концентрации взвеси в фильтрате от времени фильтрования

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ

Общие положения

Стабильностью воды называют ее свойство не растворять карбонат кальция и не выделять его из раствора.

Стабильность воды обусловлена динамическим равновесием между различными формами угольной кислоты:



Свободная двуокись углерода (CO_2), которая необходима для поддержания в растворе бикарбонатов, называется равновесной углекислотой.

Если концентрация растворенной в воде углекислоты превышает равновесную, то избыток CO_2 вступает в реакцию с твердым карбонатом кальция и растворяет его:



Вода, в которой концентрация свободной углекислоты больше равновесной, называется агрессивной или коррозионной.

Коррозионная вода разрушает бетон, растворяя карбонат кальция, входящий в его состав. Кроме того, она исключает возможность образования на стенках стальных и чугунных труб защитной карбонатной пленки. Отсутствие защитной пленки обуславливает контакт металла с водой, что, при наличии в природных водах растворенного кислорода, является причиной коррозии металла.

При недостатке CO_2 по сравнению с его равновесной концентрацией возникает сдвиг равновесия в уравнении (8.1) вправо. При этом образуется дополнительное количество CO_2 с одновременным увеличением концентрации ионов CO_3^{2-} , которые вступают в реакцию с обычно находящимися в воде ионами кальция с образованием карбоната кальция, выпадающего в осадок



Воду, которая содержит свободную углекислоту в количестве менее равновесной концентрации, называют некоррозионной или склонной к отложению карбоната кальция.

Стабильность воды по отношению к бетону определяют двумя методами:

- 1) карбонатными испытаниями (экспериментальный метод);
- 2) вычислением по данным анализов воды индекса насыщения раствора карбонатом кальция (приближенный расчетный метод).

Показатель стабильности по первому методу определяют из уравнения

$$C = \text{Щ}_1 / \text{Щ}_2, \quad (8.4)$$

где Щ_1 – щелочность исходной воды, мг-экв/л;

Щ_2 – щелочность воды после встряхивания с карбонатом кальция, мг-экв/л.

Если $C < 1$ – вода коррозионна,

$C > 1$ – вода склонна к отложению карбоната кальция,

$C = 1$ – вода стабильна.

По второму (расчетному) методу индекс насыщения воды карбоната кальция **J** (индекс Ланжелье) вычисляют по формуле

$$J = \text{pH}_o - \text{pH}_s \quad (8.5)$$

где pH_o – значение pH исследуемой воды;

pH_s – значение pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция.

Величину pH_s определяют из уравнения:

$$\text{pH}_s = f_1(t) - f_2(\text{Ca}^{2+}) - f_3(\text{Щ}_1) + f_4(P) \quad (8.6)$$

где $f_1(t)$, $f_2(\text{Ca}^{2+})$, $f_3(\text{Щ}_1)$, $f_4(P)$ – величины, зависящие соответственно от температуры воды, концентрации в ней кальция, щелочности и общего содержания солей и определяемые по специальным номограммам.

Если $J < -0,25$ – вода коррозионна,

$J > +0,25$ – вода склонна к отложению карбоната кальция,

$J = \pm 0,25$ – вода практически стабильна.

Стабильность воды по отношению к металлу определяют по методу ВНИИ ВОДГЕО, в основе которого лежит определение потери веса металла, погруженного в исследуемую воду. Степень коррозионной активности воды по отношению к металлу оценивается в баллах по табл. 8.1.

Таблица 8.1

Потеря металла в весе, г/м ² в сут	Характеристика стабильности воды	Степень коррозионности, балл
< 2,5	Стабильна	1
2,5...25	Менее стабильна	2
25...75	Слабо агрессивна	3
75...250	Агрессивна	4
> 250	Сильно агрессивна	5

Реактивы, аппаратура, посуда

1. Встряхивающий аппарат с качающейся платформой для встряхивания сосудов с исследуемой водой.
2. Бюретки 25 мл с оливой.
3. рН-метр.
4. Приспособление для отбора воды из сосуда после встряхивания пробы с порошкообразным карбонатом кальция (см. рис. 8.1). Приспособление состоит из сосуда с резиновой пробкой 2, размер которой соответствует горлышку сосуда. Через нее пропущена хлоркальциевая трубка 3, заполненная натронной известью, и стеклянная трубка 4, не доходящая на 3–4 см до дна сосуда. На верхний конец стеклянной трубки надевается резиновый шланг длиной 75–80 см, другой конец шланга соединен со стеклянной трубкой 4, пропущенной через резиновую пробку 5. Эта пробка вставлена в воронку 6 с фильтром №2 из пористой стеклянной пластинки (размер пор 40–50 мкм).
5. Стеклянная банка с резиновой пробкой.

6. Проволока фортепианная длиной 50 мм.

7. Карбонат кальция порошкообразный. 250 г кристаллического хлорида кальция ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) растворяют в 1 л дистиллированной воды; в другом сосуде растворяют 175 г карбоната аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ в 1,6 л дистиллированной воды. Сливают оба раствора в цилиндрический сосуд емкостью 3–5 л и непрерывно перемешивают в течение 15–20 мин. Образовавшемуся осадку карбоната кальция дают осесть в течение 2–3 ч. Воду над осадком сливают, оставшийся на дне осадок переносят частями в воронку Бюхнера с уложенным на дно кружком фильтровальной бумаги и отмывают дистиллированной водой до отсутствия хлоридов в промываемой воде. Промытый осадок высушивают при 110 °С и прокаливают при 300–350 °С в течение 3–4 ч.

8. Реактивы для определения щелочности (см. лаб. раб. №1-2).

9. Реактивы для определения содержания железа.

10. Соляная кислота концентрированная (плотность 1,19).

11. Имитат нестабильной воды.

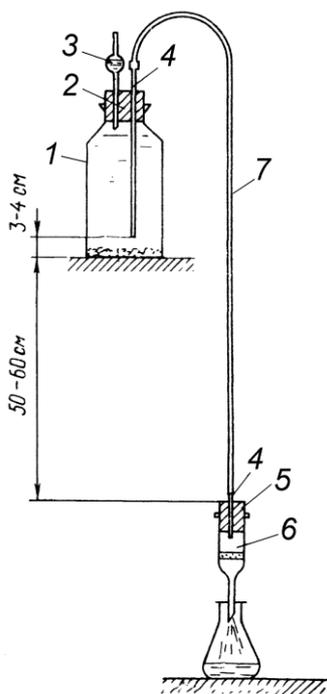


Рис. 8.1. Приспособление для фильтрования воды без доступа углекислоты воздуха: 1 – сосуд; 2, 5 – резиновые пробки; 3 – хлоркальцевая трубка; 4 – стеклянные трубки; 6 – воронка со стеклянным фильтром; 7 – резиновая трубка

1. Определение стабильности воды по отношению к бетону экспериментальным методом карбонатных испытаний

В исследуемой воде определяют щелочность $Щ_1$. В прочный стеклянный сосуд емкостью 400...500 мл высыпают 30 г порошкообразного карбоната кальция, заполняют сосуд до пробки исследуемой водой и плотно закрывают резиновой пробкой. Затем сосуд устанавливают в горизонтальном положении на платформу встряхивающего аппарата и в течение 2 ч встряхивают при 100–150 качаниях платформы в минуту. Затем снимают сосуд со встряхивающего аппарата, быстро заменяют пробку приспособлением для отбора воды (рис. 8) и оставляют в покое на 1 ч для осаждения порошка карбоната кальция.

После осветления воды сифоном отсасывают ее через нижний конец воронки со стеклянным фильтром, сбрасывают первые 50 мл и отбирают в коническую колбу 100 мл фильтрованной воды для определения щелочности $Щ_2$.

Показатель стабильности определяют по формуле (8.4).

2. Определение стабильности воды по отношению к бетону с помощью расчета индекса насыщения карбонатом кальция

В исходной воде определяют температуру, рН, содержание кальция, щелочность, общее содержание солей (приблизительно принимать равным сухому остатку).

Величину рН рассчитывают по формуле (8.6), а входящие в нее функции температуры, концентрации кальция, щелочности и солесодержания определяют по соответствующим шкалам номограммы, приведенной на рис. 8.2. Для вычисления индекса насыщения используют уравнение (8.5).

Опытные данные для определения показателя стабильности S и индекса насыщения J приведены в табл. 8.2.

Экспериментальные данные для определения показателя стабильности воды и
индекса насыщения

По экспери- ментальным данным			По расчету									
Щ ₁	Щ ₂	С	pH ₀	t	Ca ²⁺	P	f ₁ (t)	f ₂ (Ca ²⁺)	f ₃ (Щ ₁)	f ₄ (P)	pH _s	J

3. Определение стабильности воды по отношению к металлу

Стеклянную банку до краев наполняют исследуемой водой, в которой предварительно определяют содержание железа. Фортепианную проволоку длиной 50 ± 1 мм очищают наждачной бумагой и протирают ватой, смоченной в эфире, для обезжиривания. Обработанную таким образом проволоку подвешивают на шелковой нитке снизу пробки, которой затем закрывают банку с исследуемой водой. При этом часть воды выдавливают так, чтобы под пробкой не оставалось пузырьков воздуха. Проволоку выдерживают в воде 2 ч. Затем банку открывают и проволоку вынимают таким образом, чтобы вода стекала в банку. С поверхности проволоки тщательно снимают продукты коррозии кусочком фильтровальной бумаги, затем тоже опускают в банку. Необходимо следить за тем, чтобы продукты коррозии полностью оказались в банке. Затем в содержимое банки добавляют 5 мл концентрированной соляной кислоты, после десятиминутного перемешивания стеклянной палочкой определяют содержание железа в воде после двухчасового контакта с проволокой. По изменению концентрации железа в воде судят о коррозионности исследуемой воды.

Потерю металла в весе от коррозии за сутки ΔM , г/м², определяют по формуле:

$$\Delta C = \frac{C \cdot 12 \cdot 10^3}{\pi \cdot d \cdot l}, \quad (8.7)$$

где ΔC – увеличение концентрации железа в воде после двухчасового контакта с проволокой, мг/л;

d – диаметр проволоки, мм;

l – длина проволоки, мм.

Характеристику стабильности воды и степень ее коррозионности в баллах определяют по табл. 8.1.

Экспериментальные данные для определения коррозионной активности воды записывают в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Экспериментальные данные для определения коррозионной активности воды

Концентрация железа в воде, мг/л	Концентрация железа после 2- часового контакта с проволокой, мг/л	Потеря металла в весе за сутки, г/м ²	Характеристика стабильности	Степень коррозионности, балл

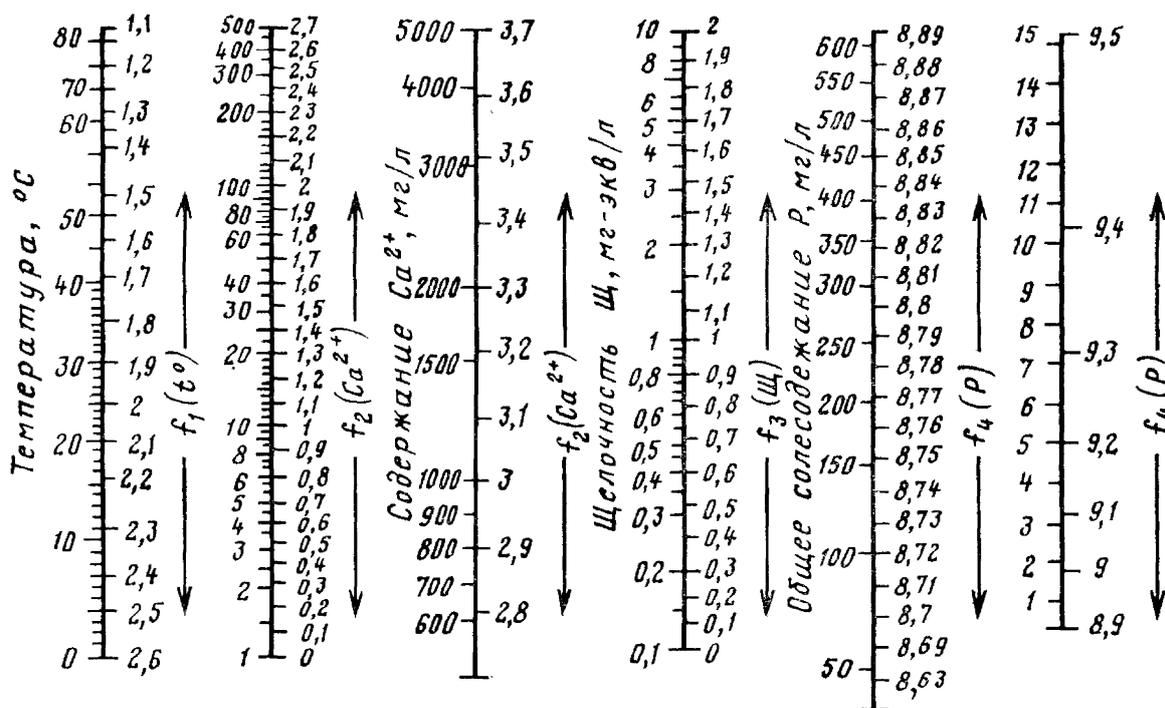


Рис. 8.2. График для определения pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИМИТАТА НЕСТАБИЛЬНОЙ ВОДЫ

Реактивы

1. Сернокислый алюминий х.ч., ч.д.а. или технический.
2. Окись кальция, гидрат окиси кальция х.ч., ч.д.а. или техническая строительная известь.
3. Реактивы для определения щелочности.
4. Термометр.

Ход определения

Имитат нестабильной воды готовят из водопроводной воды, в которой определяют щелочность, температуру и солесодержание. По номограмме (рис. 8.2) определяют содержание свободной углекислоты в водопроводной воде. Для приготовления коррозионной воды в водопроводную воду добавляется сернокислый алюминий для увеличения свободной углекислоты в 2–3 раза. Дозу сернокислого алюминия принимают из расчета, что 100 мг безводного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ х.ч. или ч.д.а. выделяет примерно 80 мг свободной CO_2 . Если используется технический коагулянт, то 80 мг свободной углекислоты выделяется с использованием $100/C_1$ г коагулянта, где C_1 – коэффициент активности коагулянта по безводному продукту.

Имитат воды, склонной к отложению карбоната кальция, готовится обработкой водопроводной воды окисью кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), для понижения свободной углекислоты в водопроводной воде в 2–3 раза. Доза реагента принимается из расчета, что 100 мг CaO связывает примерно 160 мг свободной CO_2 , а 100 мг $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 120 мг. Если используется техническая строительная известь, то 120 мг CO_2 связываются $(100 \cdot 1,33)/C_2$ мг технического продукта, где C_2 – коэффициент активности технической строительной извести по CaO .

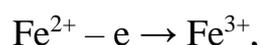
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ВОДЕ

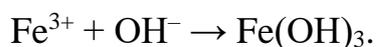
Общие положения

Формы присутствия железа в воде зависят от вида источника. В поверхностных и технических водах железо содержится, в основном, в трехвалентной форме в виде тонкодисперсной гидроокиси или органических соединений. В подземных водах преобладает двухвалентное железо в виде карбонатов и бикарбонатов. Если подземные водоисточники имеют гидравлическую связь с торфяниками и болотами, содержащими органические вещества, то подземные воды, так же, как и поверхностные, содержат железо в виде стойких органических комплексов.

Методы обезжелезивания определяются формами содержания железа в воде. Подземные воды с повышенным содержанием закисного железа при обезжелезивании, как правило, проходят этап аэрирования, во время которого происходит обогащение воды кислородом воздуха и частичное удаление углекислоты. Под действием кислорода двухвалентное железо окисляется в трехвалентное:



а удаление углекислоты способствует повышению рН воды, что улучшает условия гидролиза и коагуляции окислившегося железа:



Дальнейшее разделение суспензии идет на скорых фильтрах.

В схемах обезжелезивания используют аэрацию двух видов: упрощенную и глубокую. Упрощенная аэрация осуществляется в процессе разлива обрабатываемой воды с некоторой высоты. Если упрощенной аэрации недостаточно для снижения содержания железа до требуемой величины, проводят глубокую аэрацию, используя для этого специальные сооружения.

Если железо подземных или поверхностных вод входит в состав органических комплексов, то сначала необходимо разрушить эти комплексы окислите-

лями (хлором, озоном и др.), а затем удалить образовавшуюся гидроокись железа коагуляцией или известкованием. В связи с вышеизложенным, железо из подземных вод удаляют следующими методами

- а) упрощенной аэрацией с последующим фильтрованием;
- б) глубокой аэрацией с последующим отстаиванием и фильтрованием;
- в) известкованием с последующим фильтрованием;
- г) коагуляцией с последующим осветлением и фильтрованием;
- д) коагуляцией и известкованием с последующим осветлением и фильтрованием.

Поверхностные воды обезжелезивают двумя последними методами. Кроме того, все перечисленные методы могут применяться как в сочетании с окислителями, так и без них.

Выбор метода обезжелезивания производится на основании пробной обработки железосодержащей воды.

1. Определение содержания железа в воде фотометрическим методом с роданидом

Метод основан на взаимодействии трехвалентного железа с роданид-ионом (SCN^-) в сильноокислой среде с образованием окрашенного в красный цвет комплексного соединения. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации железа. Определение проводят после предварительного окисления двухвалентного железа персульфатом аммония в кислой среде. Метод позволяет обнаружить трехвалентное железо, в этом случае анализируют, не добавляя персульфата аммония, а интенсивность окраски измеряют немедленно, так как она быстро меняется.

Реактивы, приборы, посуда

1. Спектрофотометр UNICO 2100.
2. Колбы конические на 250 мл – 7 шт.
3. Пипетки градуированные.

4. Колбы мерные на 50 мл – 10 шт.
5. ГСО ионов железа.
6. Соляная кислота разбавленная (1 : 1).
7. Персульфат аммония.
8. Роданистый калий или аммоний – 50 %-ный раствор.

Построение калибровочной кривой

Готовят из ГСО рабочий раствор с концентрацией железа 0,01 мг/мл, далее в мерные колбы на 50 мл добавляют пипеткой 0; 0,5; 1; 2; 3; 4 и 5 мл раствора и доводят до метки дистиллированной водой. Получив растворы с концентрацией железа 0,0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1 мг/л обрабатывают их как описано в «ходе определения». По полученным данным строят калибровочную кривую, откладывая по оси абсцисс массовую концентрацию железа в мг/л, а по оси ординат – соответствующее значение оптической плотности.

Ход определения

В колбу емкостью 200 мл вносят цилиндром 50 мл исследуемой воды. В случае содержания железа в воде более 4,0 мг/л берут меньший объем исследуемой воды и разбавляют дистиллированной водой до 50 мл. В колбу добавляют также 1 мл разбавленной (1 : 1) соляной кислоты, так как реакция трехвалентного железа с роданистым калием или аммонием протекает в кислой среде. Добавляют также 2–3 кристаллика персульфата аммония для окисления двухвалентного железа в трехвалентное, нагревают на водяной бане для улучшения процесса окисления, затем охлаждают и добавляют 2 мл 50 %-ного раствора роданида калия или аммония. После этого измеряют оптическую плотность (Длина волны – 490–500 нм, длина кюветы – 10 мм). Содержание железа $Fe_{\text{общ}}$ определяется по калибровочной кривой.

Содержание трехвалентного железа Fe^{3+} определяют аналогично, но без добавки персульфата аммония, поэтому водной баней не пользуются. Количество двухвалентного железа Fe^{2+} находят как разность между $Fe_{\text{общ}}$ и Fe^{3+} .

2. Определение содержания общего железа в воде по экспресс-методике HACH-LANGE

Определение массовой концентрации железа в воде фотометрическим методом основано на восстановлении трехвалентного железа до двухвалентного с помощью вспомогательного реагента (например, гидрохлорида гидроксилами-на) и взаимодействии двухвалентного железа с 1,10-фенантролином в кислой среде (рН около 3) с образованием окрашенного в оранжево-красный цвет комплекса. Максимум оптической плотности в спектре поглощения образовавшегося соединения наблюдается при 510 нм.

Метод позволяет определять концентрации железа в диапазоне от 0,02 до 3,00 мг/л. При большем содержании железа требуется предварительное разбавление пробы.

Реактивы, приборы, посуда

1. Спектрофотометр HACH DR 2800.
2. Пакетированный реагент железа FerroVer® (21057-69) – 1 шт.
3. Кюветы для образцов, квадратные 2,5 см, 10 мл – 2 шт.
4. Пипетки градуированные.

Ход определения

Включают спектрофотометр DR2800, выбирают в памяти прибора соответствующую методику (8008). Наполняют чистую квадратную кювету для образца 10 мл с помощью пипетки пробой анализируемой воды. Добавляют содержимое одного пакета реагента железа FerroVer® в кювету для образца. Перемешивают реагент с водой путем покручивания и покачивания кюветы в руках. Если железо присутствует, появляется оранжевая окраска.

Нажать на приборе TIMER>ОК. Начнется период отчета времени реакции, продолжающийся три минуты. В это время готовится контрольный образец:

вторая квадратная кювета наполняется с помощью пипетки пробой анализируемой воды в объеме 10 мл.

Когда время таймера истечет, контрольный образец вставляется в держатель для кювет, повернув его вправо меткой, до которой кювета наполняется. Нажать ZERO, на дисплее отобразится: 0.00 mg/L Fe (0,00 мг/л Fe_{общ}).

Далее контрольный образец извлекается и в держатель кюветы помещается подготовленный образец, повернутый вправо меткой, до которой кювета наполняется. Нажать READ. Результаты отображаются в мг/л.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ
ЦВЕТНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ
УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ

Вводная информация о мембранных технологиях

Для проектирования систем питьевого и промышленного водоснабжения с использованием баромембранных систем важно представлять себе область применения различных типов мембран, их возможности и характеристики. Применению мембранных установок в проекте, как правило, должен предшествовать ряд экспериментальных исследований, предназначенных для определения необходимых характеристик мембран для рассматриваемого случая.

Основные параметры, на основе которых ведется проектирование:

1. **Удельная производительность мембран J** – количество профильтрованной через мембрану воды – измеряется в л на м² поверхности мембран в час. Зависит для *нанофльтрационных* и *обратноосмотических* мембран от:

– величины рабочего давления, атм (обычно от 7 до 16 атм для нанофльтрации и низконапорного обратного осмоса);

– величины общего солесодержания исходной воды (обычно от 100 до 10000 мг/л);

– температуры обрабатываемой воды (0–35 °С).

Современные мембранные аппараты обычно имеют характеристики, которые были определены для «стандартных» условий испытаний (давление 7 или 16 атм, температура 25 °С, солесодержание 1500 мг/л). Для условий эксплуатации, предусмотренных проектом (величины общего солесодержания, температуры), производительность мембран выбирается либо на основе экспериментально определенных данных, либо при наличии ранее полученных данных и зависимостях – расчетным путем.

Производительность мембран в большой степени определяется качеством очищаемой воды, в которой могут содержаться различные вещества, образуя-

щие осадки на мембранах. Осадкообразование снижает производительность мембран.

Для ультрафильтрационных мембран особенно важно знание параметров образующегося осадка, вызывающего снижение производительности. При эксплуатации ультрафильтрационных установок осадок, накапливающийся в течение времени фильтроцикла (15–45 мин) на поверхности мембран, удаляется с помощью промывки обратным током фильтрата в течение (10–30 секунд). Параметры эксплуатации установки: рабочее давление P , удельная производительность J , время фильтроцикла T и время обратной промывки t определяют расчетные эксплуатационные показатели работы установки: среднюю часовую производительность и расход воды на собственные нужды (на обратную промывку). Указанные параметры уточняются с помощью экспериментов.

2. **Селективность мембран (коэффициент задержания) R** – степень задержания мембраной различных загрязнений, выражается в процентах:

$$R = (C_{исх} - C_{ф}) / C_{исх} \cdot 100, \quad (10.1)$$

где $C_{исх}$ – концентрация загрязнений (солей, отдельных ионов, органических веществ и др.) в исходной воде, мг/л;

$C_{ф}$ – концентрация того же вещества в фильтрате, мг/л.

Селективность обратноосмотических и нанофильтрационных мембран определяют по солям $NaCl$, $MgSO_4$ и по отдельным ионам Ca^{2+} , F^- и др. Для ультрафильтрационных мембран селективность определяют по молекулам альбумина и декстрана с различной атомной массой.

Селективность мембран зависит от давления, а также гидравлического режима (скорость поперечного потока) в аппарате.

3. **Величина выхода фильтрата α** – выражается в доле исходной воды, прошедшей через мембрану в фильтрат:

$$\alpha = W_{ф} / W_{исх}, \quad (10.2)$$

где $W_{исх}$ – объем исходной воды, пропущенной через мембранный аппарат за единицу времени, л, м³;

$W_{ф}$ – объем фильтрата, полученный за единицу времени л, м³.

В зависимости от выбранной величины α меняется качество фильтрата. Выбранная величина α влияет на конструкцию установки (для поддержания требуемого скоростного режима в аппаратах). Величину α , так же как и другие параметры, назначают, основываясь на экспериментальных данных.

Общая информация

Ультрафильтрация – процесс мембранного разделения, при котором используют мембраны с размером пор от 0,005 до 0,1 мкм, позволяющие удалять из воды практически все взвешенные и коллоидные загрязнения, в том числе гидроокись железа, высокомолекулярные органические вещества, а также бактерии, вирусы, споры.

На современных водоочистных станциях ультрафильтрационные водоочистные установки применяются вместо зернистых песчаных фильтров, обеспечивая более глубокую очистку, а также в качестве основных сооружений для осветления и обесцвечивания воды (преимущественно для подземных вод или технического водоснабжения). Ультрафильтрационные системы дают преимущество перед реагентными методами осветления благодаря отсутствию или значительно сниженному потреблению реагентов, стойкости к колебаниям состава исходной воды, гарантированному высокому качеству очищенной воды.

Технология обработки воды с помощью ультрафильтрационных мембран заключается в «тупиковой» фильтрации воды через мембрану без сброса концентрата с периодической обратной промывкой (рис. 10.1а). Процесс фильтрования длится 20–60 мин, после чего следует обратная промывка мембраны. Для этого часть очищенной воды подается под давлением в фильтратный тракт в течение 20–60 с. В процессе обратной промывки вода уносит с поверхности мембран слой накопившихся загрязнений. Расход промывной воды составляет не более 5 % от производительности системы. График зависимости производительности ультрафильтрационного аппарата от времени приведен на рис. 10.1.

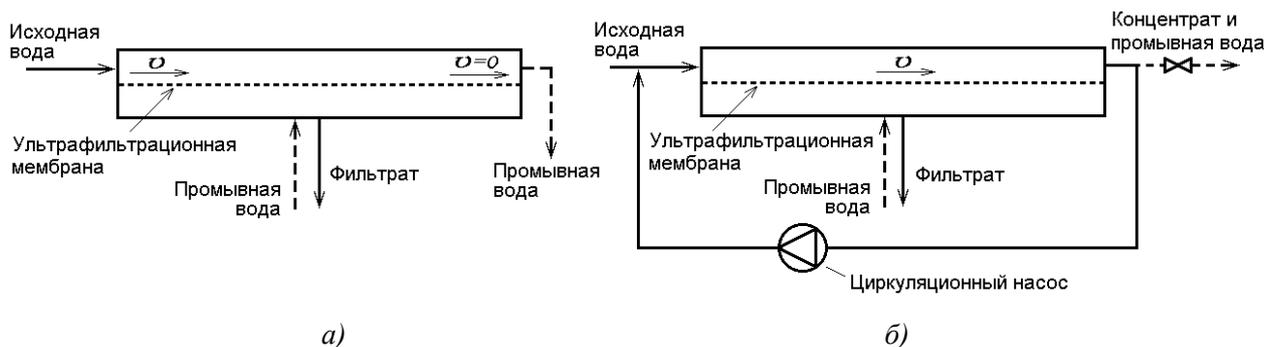


Рис. 10.1. Основные схемы работы ультрафильтрационных установок: а) тупиковый режим; б) режим с поперечным потоком и рециркуляцией

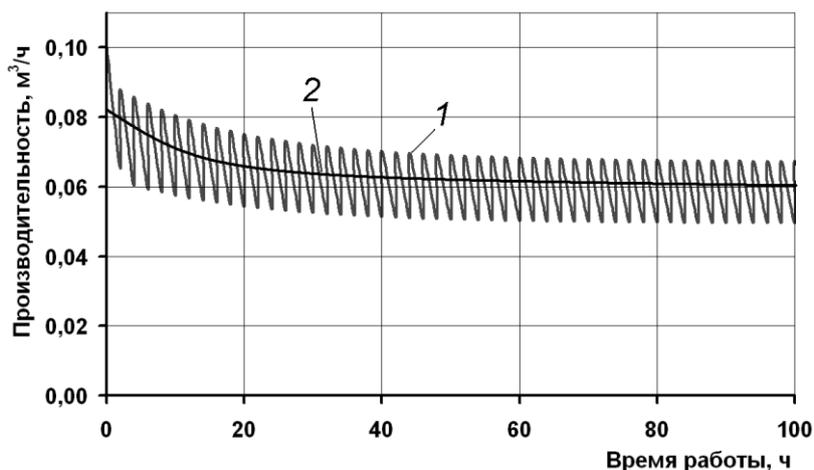


Рис. 10.2. Зависимость мгновенной (1) и средней (2) производительности ультрафильтрационного аппарата от времени

В ряде случаев, для уменьшения загрязнения мембран и повышения их производительности используют режим с поперечным потоком, когда над поверхностью мембраны поддерживается высокая скорость потока жидкости, чтобы задержанные загрязнения не осаждались на мембране, а находились во взвешенном состоянии (рис. 10.1б).

Наиболее распространенные ультрафильтрационные мембраны, применяемые для водоподготовки, задерживают органические вещества с молекулярной массой не менее 100–150 кДа. Большая часть гуминовых и фульвокислот, образующих цветность природной воды, имеет молекулярную массу 0,5–5 кДа.

Для снижения цветности природных вод с помощью ультрафильтрационных мембран, в исходную воду перед ультрафильтрационной установкой дозируют коагулянт или флокулянт. Очистка воды происходит в режиме т.н. «пря-

моточной» коагуляции («коагуляция в линию»), сходной с процессом контактной коагуляции.

Однако применение ультрафильтрационных мембран по сравнению с фильтрами с зернистой загрузкой гарантирует более высокое качество воды благодаря задержанию мембранами бактерий, вирусов, нескоагулированных коллоидов и т.д.

Работа ультрафильтрационной установки характеризуется следующими основными параметрами: рабочее давление $P_{\text{раб}}$, удельная производительность мембран q_0 , зависящая от качества исходной воды и температуры, продолжительность фильтроцикла $t_{\text{ф}}$, продолжительность $t_{\text{пр}}$ и давление $P_{\text{пр}}$ промывки.

Цель лабораторных работ состоит в определении:

– оптимальной дозы коагулянта при обработке поверхностной воды методом ультрафильтрации для снижения цветности до заданного значения;

– удельной производительности ультрафильтрационного аппарата при различных условиях его работы: фильтрация дистиллированной воды, очистка поверхностных вод различного состава без коагуляции и с предварительной коагуляцией;

– определение параметров (коэффициентов) в уравнении, описывающем процесс фильтрования суспензии с постепенным закупориванием пор и образованием осадка на поверхности мембраны, для получения расчетных характеристик ультрафильтрационной установки.

Оборудование, приборы, реактивы, посуда

1. Лабораторная установка с баками и насосами.
2. Мембранный элемент типа 1814 с ультрафильтрационными мембранами УАМ-1000. Расход фильтрата – 60 л/ч (давление 2 атм). Молекулярное отсечение – 150 кДа. Площадь фильтрования – 5 м².
3. Мембранный ультрафильтрационный элемент с полыми волокнами. Расход фильтрата – 80 л/ч (давление 1 атм). Молекулярное отсечение – 100 кДа.
4. Спектрофотометр UNICO 2100.

5. рН-метр.
6. Цилиндр стеклянный 500 мл.
7. Колбы конические (стеклянные или полиэтиленовые) 500 мл – 8 шт.
8. Воронки полиэтиленовые – 4 шт.
9. Бумажные фильтры – «белая» лента.
10. Колбы конические стеклянные (для титрования) 250 мл.
11. Груши-спринцовки медицинские с мягким носиком.
12. Емкость для хранения имитата цветных вод (ведро или таз).
13. Кружка фарфоровая или полиэтиленовая на 500 мл.
14. Посуда мерная: пипетки 10 мл с делениями на полный слив, бюретки 25 мл с оливой, цилиндры мерные на 100 мл, стаканы мерные на 250 мл с делениями.
15. Сульфат алюминия х.ч. или ч.д.а. (1 %-ный раствор). Навеску в 19,5 г $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, соответствующую 10 г безводного сульфата алюминия, помещают в мерную колбу емкостью 1000 мл, растворяют при нагревании в 300...500 мл дистиллированной воды, охлаждают и доводят до метки дистиллированной водой. Хранят в склянке из темного стекла с притертой или резиновой пробкой.
16. Торфяная вытяжка для приготовления имитата природных вод (см. лаб. раб. №3).
17. Реактивы для определения щелочности (метилоранж, соляная кислота 0,1 н.).

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для проведения процесса ультрафильтрации показана на рис. 10.3. Исходная поверхностная вода помещается в бак 1, откуда насосом 2 подается в ультрафильтрационный аппарат 3. Исследования проводят либо на рулонном модуле с мембранами марки УАМ-1000 (размер пор 0,1 мкм), либо на аппарате с половолоконными мембранами с отсечением по молекулярной массе 100–200 кДа. Фильтрат после ультрафильтрационного аппарата

собирается в бак фильтрата 4. Рабочее давление в аппарате 3 устанавливается с помощью вентиля 6 на байпасной линии насоса и определяется по манометру 7. Краны 11, 14 и 15 должны быть открыты, а краны 12, 13 и 16 – закрыты.

После проведения фильтроцикла аппарат следует промыть обратным током воды. Для этого закрываются краны 11 и 15 на линиях подачи исходной воды и отвода фильтрата; открывается кран 16 на баке 4 и кран 12 подачи фильтрата в ультрафильтрационный аппарат под давлением от насоса 8. Для подачи фильтрата в аппарат 3 включают насос фильтрата 8, при этом открывают кран 13 для сброса промывной воды в емкость 5. Давление обратной промывки устанавливается по манометру 10 на уровне 2,0...3,0 атм. с помощью вентиля байпасной линии промывного насоса 9. После проведения обратной промывки аппарат готов к следующему циклу фильтрования.

Расходы исходной воды и фильтрата устанавливаются по ротаметрам 17 и 18.

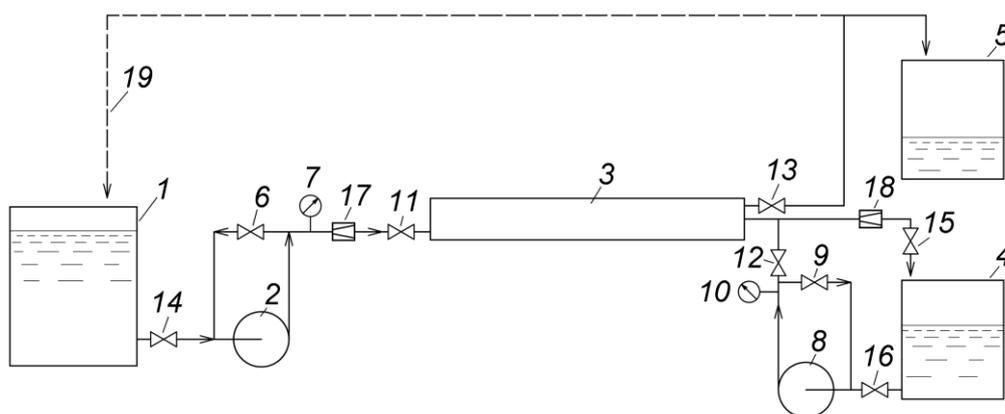


Рис. 10.3. Схема лабораторной ультрафильтрационной установки: 1 – бак исходной воды; 2 – рабочий насос; 3 – ультрафильтрационный аппарат; 4 – бак сбора фильтрата; 5 – емкость для сбора промывной воды; 6, 9 – вентили байпасной линии для регулировки давления соответственно исходной и промывной воды; 7, 10 – манометры; 8 – насос подачи промывной воды; 11, 12, 13 – шаровые краны на линиях соответственно: подачи исходной воды, подачи промывной воды и отвода фильтрата; 14, 15, 16 – запорные краны; 17, 18 – ротаметры; 19 – линия возврата исходной воды (схема с рециркуляцией)

Ход определения дозы коагулянта для обработки цветных вод методом ультрафильтрации

Исследуемая вода помещается в бак 1 в количестве 20 л. В качестве исходной воды используется либо природная вода, либо имитат цветной маломутной воды (приготавливается из торфяной вытяжки и замутнителя). В исходной воде определяют цветность (с помощью спектрофотометра), мутность, щелочность, рН. Заранее приготавливают раствор коагулянта (сернокислого алюминия) с концентрацией 10 мг/мл.

В исходную воду вводят дозу коагулянта (например: 10, 20, 30, 40 мг/л), После быстрого перемешивания в течение 15–30 с, что соответствует пребыванию воды в смесителе и завершению перикинетической фазы коагуляции, включают насос 2. Давление фильтрования устанавливают на уровне 1–2 атм.

Пробу фильтрата отбирают через 5 и 10 минут после начала цикла фильтрования. Через 10 минут установку останавливают.

В фильтрате определяют цветность, мутность, щелочность и рН. В процессе фильтрования замеряют расход фильтрата в начале цикла, через 5 минут и в конце цикла.

После окончания цикла проводят обратную промывку продолжительностью 30–60 с (до получения визуально прозрачной промывной воды), после чего цикл повторяется с новой дозой коагулянта.

Результаты определений заносят в таблицу 10.1.

Таблица 17

Экспериментальные данные для определения оптимальной дозы коагулянта

№ цикла	Фильтрат				Доза коагулянта, мг/л	Расход фильтрата, л/ч			Температура воды, °С
	цветность, град		щелочность, мг-экв/л	рН		0 мин	5 мин	10 мин	
	5 мин	10 мин							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1					10				

2					20				
3					30				
4					40				

По результатам определений строят график зависимости цветности очищенной воды от дозы коагулянта (см. рис. 3.1, Лабораторная работа №3) и график снижения производительности от времени (см. рис. 10.2).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РАСЧЕТНЫХ
ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Общая информация

Цель работы – определение постоянных фильтрации и средней производительности ультрафильтрационных мембран при работе на воде заданного состава для получения расчетных характеристик ультрафильтрационной установки.

Производительность мембран J , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, в общем виде можно выразить уравнением Рутга-Кармана:

$$J = \frac{dV}{F \cdot dt} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot (R_m + R_z + R_{oc})}, \quad (11.1)$$

где dV – объем фильтрата, м^3 , полученный за время dt , с;

F – площадь поверхности фильтрации, м^2 ;

ΔP – давление фильтрации (перепад давления на мембране), Па;

μ – динамическая вязкость (для воды при 20°C – $\mu_{20} = 0,00101 \text{ Па} \cdot \text{с}$);

R_m – сопротивление чистой мембраны, м^{-1} ;

R_z – дополнительное сопротивление мембраны, возникшее за счет закупоривания ее пор, м^{-1} ;

R_{oc} – сопротивление осадка на мембране, м^{-1} .

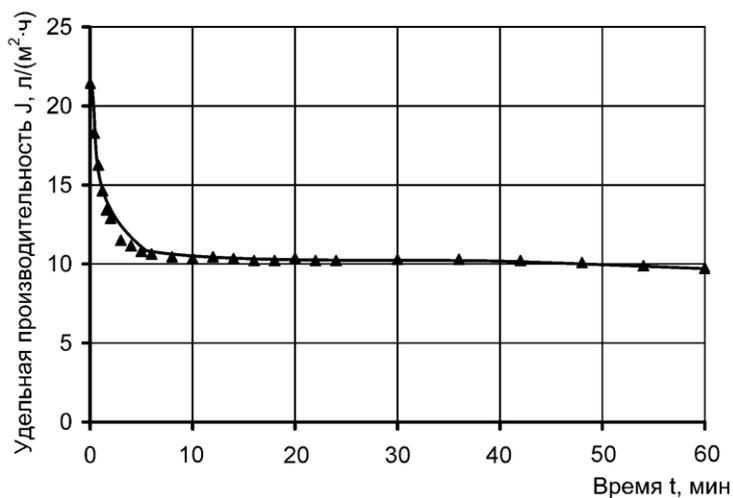
Общее сопротивление фильтрации складывается из сопротивления мембраны и дополнительного сопротивления, которое обусловлено частицами, осаждающимися на поверхности (фильтрация с образованием осадка) и в порах мембраны (фильтрация с полным или постепенным закупориванием пор).

Каждый вид процесса фильтрации описывается своими функциональными зависимостями между временем t , объемом воды, профильтрованной через единицу площади поверхности фильтра, q и скоростью фильтрации (удельной производительностью) J . При этом каждому виду фильтрации со-

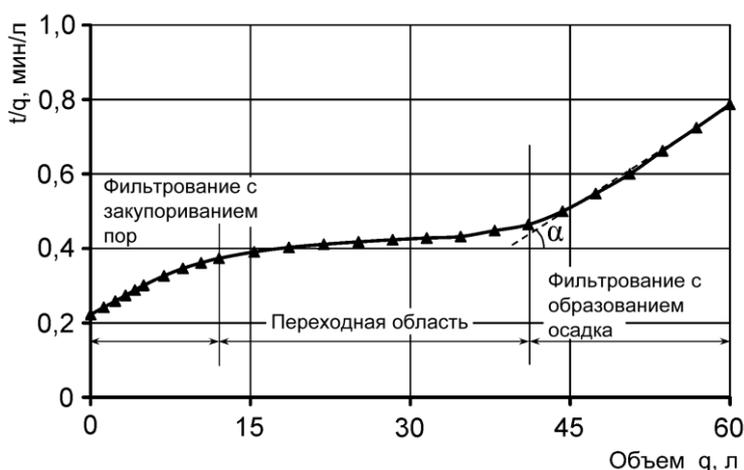
ответствует зависимость, которая дает прямую линию в одних из следующих координат:

- полное закупоривание пор – $q - J$;
- постепенное закупоривание пор – $t - t/q$;
- промежуточный тип фильтрования – $t - 1/J$;
- образование осадка – $q - t/q$.

Пример экспериментального определения изменения производительности ультрафильтрационной мембраны с течением времени и обработка полученной зависимости в координатах $q - t/q$ приведен на рис. 11.1.



а)



б)

Рис. 11.1. Зависимость удельной производительности от времени (а) и зависимость $t/q = f(q)$ (б) для мембраны УАМ-150 при фильтровании маломутной воды

Падение производительности ультрафильтрационной мембраны с течением времени описывается следующей зависимостью:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m} \cdot e^{-at} + \frac{\Delta P}{\mu \cdot \sqrt{(R_m + R_z)^2 + 2bt}} \cdot (1 - e^{-at}), \quad (11.2)$$

где t – время, с;

a – коэффициент закупоривания пор:

$$a = \frac{\alpha \cdot \Delta P \cdot C_{исх}}{\mu \cdot R_m}; \quad (11.3)$$

α – коэффициент пропорциональности;

$C_{исх}$ – концентрация загрязнений в исходной воде, кг/м³;

b – коэффициент образования осадка:

$$b = r_{oc} \cdot C_{исх} \cdot (\Delta P / \mu), \quad (11.4)$$

r_{oc} – удельное сопротивление осадка, м/кг.

Для расчета по формуле (11.4) помимо содержания взвешенных веществ в исходной воде необходимо знать следующие величины: сопротивление мембраны до (R_m) и после ($R_m + R_z$) закупорки пор, коэффициент α и удельное сопротивление осадка r_{oc} . Для определения этих трех величин используется следующая методика.

Для процесса фильтрации с образованием осадка зависимость общего сопротивления мембраны и осадка ($R_{общ}$) от объема профильтрованной воды (q) будет выражаться прямой линией. Точка пересечения продолжения этой прямой линии с осью ординат дает сопротивление мембраны после закупорки пор – $R_m + R_z$. Сопротивление чистой мембраны определяется при фильтрации через нее дистиллированной воды, не содержащей взвешенные вещества. Для расчета величин $R_{общ}$ и R_m пользуются уравнением (11.1).

Пример кривой $R_{общ} - q$ и графическое определение $R_m + R_z$ приведены на рис. 11.2.

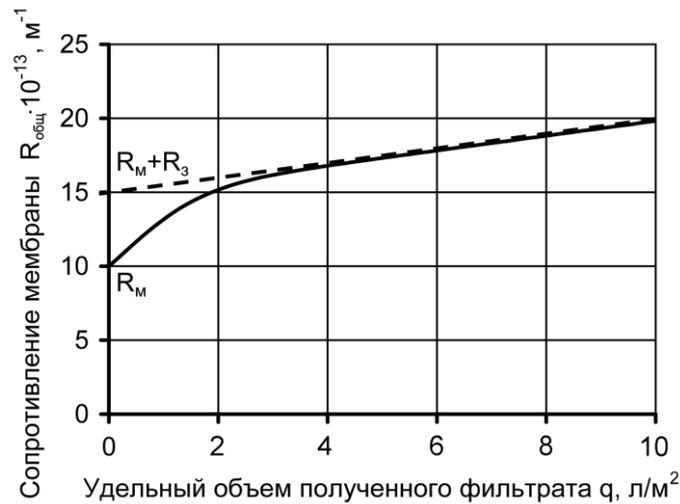


Рис. 11.2. Пример графического определения величины R_3 .

Удельное сопротивление осадка вычисляют по тангенсу угла наклона прямого участка графика в координатах t/q от q (см. рис. 11.1б):

$$r_{oc} = 2tg\alpha \cdot \frac{\Delta P}{\mu \cdot C_{исх}}. \quad (11.5)$$

Для определения постоянных закупоривания пор a и α сначала строится кривая падения производительности (J) в течение фильтроцикла (см. рис. 11.3а). Затем строится кривая образования осадка на закупоренной мембране по следующему уравнению (рис. 11.3):

$$J_{oc} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot \sqrt{(R_M + R_3)^2 + 2bt}} \quad (11.6)$$

Разность $J - J_{oc}$ зависит от времени по экспоненциальному закону:

$$J - J_{oc} = \left(\frac{\Delta P}{\mu \cdot R_M} - \frac{\Delta P}{\mu \cdot \sqrt{(R_M + R_3)^2 + 2bt}} \right) \cdot e^{-at} \quad (11.7)$$

Отсюда для произвольного времени t , для которого можно определить по графику разность $J - J_{oc}$ вычисляются значения a и α :

$$a = -\ln\left(\frac{J - J_{oc}}{\frac{\Delta P}{\mu \cdot R_M} - \frac{\Delta P}{\mu \cdot \sqrt{(R_M + R_3)^2 + 2bt}}} \right) / t \quad (11.8)$$

$$\alpha = a \cdot \frac{\mu \cdot R_m}{\Delta P \cdot C_{исх}}$$

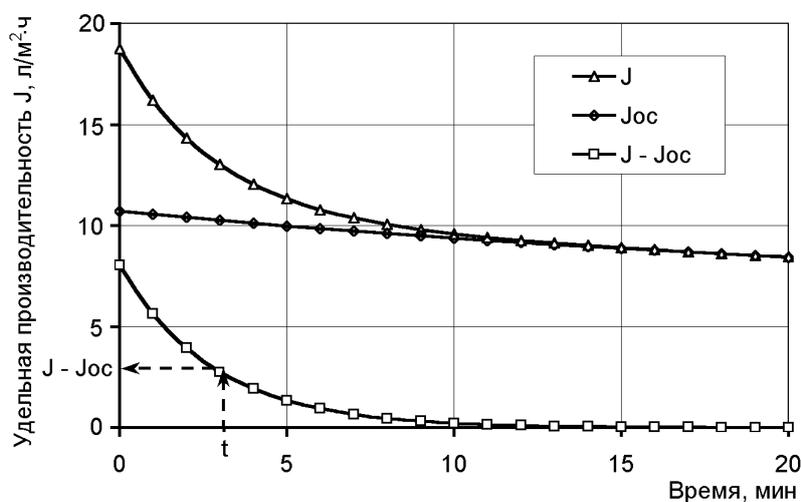


Рис. 11.3. Определение постоянных закупоривания пор a и α

Оборудование, приборы, реактивы, посуда

1. Лабораторная установка с баками и насосами.
2. Мембранный элемент типа 1814 с ультрафильтрационными мембранами УАМ-1000. Расход фильтрата – 60 л/ч (давление 2 атм). Молекулярное отсечение – 150 кДа. Площадь фильтрования – 5 м^2 .
3. Мембранный ультрафильтрационный элемент с полыми волокнами. Расход фильтрата – 80 л/ч (давление 1 атм). Молекулярное отсечение – 100 кДа.
4. Спектрофотометр UNICO 2100.
5. Цилиндр стеклянный 500 мл.
6. Колбы конические (стеклянные или полиэтиленовые) 500 мл – 2 шт.
7. Воронка полиэтиленовая – 1 шт.
8. Бумажные фильтры – «белая» лента.
9. Колбы конические стеклянные (для титрования) 250 мл.
10. Груши-спринцовки медицинские с мягким носиком.
11. Емкость для хранения имитата цветных вод (ведро или таз).
12. Кружка фарфоровая или полиэтиленовая на 500 мл.

13. Посуда мерная: бюретки 25 мл с оливкой, цилиндры мерные на 100 мл, стаканы мерные на 250 мл с делениями.

14. Сульфат алюминия х.ч. или ч.д.а. (1 %-ный раствор). Навеску в 19,5 г $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, соответствующую 10 г безводного сульфата алюминия, помещают в мерную колбу емкостью 1000 мл, растворяют при нагревании в 300...500 мл дистиллированной воды, охлаждают и доводят до метки дистиллированной водой. Хранят в склянке из темного стекла с притертой или резиновой пробкой.

15. Торфяная вытяжка для приготовления имитата цветных природных вод (см. лаб. раб. №3).

16. Суспензия мела для приготовления имитата мутных природных вод (см. лаб. раб. №3).

Ход определения параметров работы ультрафильтрационного аппарата

Первый опыт проводят на дистиллированной воде для определения удельной производительности и сопротивления чистой мембраны. Затем проводятся опыты на имитате природной воды (имитат природной воды готовится на основе суспензии мела для опыта без коагулянта, для опыта с коагулянтом – на основе торфяной вытяжки).

Первый опыт проводят на имитате мутной воды, второй опыт – на цветной воде, обработанной оптимальной дозой коагулянта, подобранной по результатам лабораторной работы №10. Исходная вода помещается в бак 1 (см. рис. 10.3) в количестве 40...50 л. В исходной воде определяют мутность (опыт на мутной воде) или цветность (опыт с цветной водой и коагулянтом).

Включают насос 2, в зависимости от типа ультрафильтрационного элемента с помощью вентиля 6 устанавливают рабочее давление 1 атм (половолоконный аппарат) или 1,5 атм (рулонный аппарат). Продолжительность фильтроцикла – 30–60 минут.

В процессе фильтрования определяют расход фильтрата по ротаметру и объем фильтрата по шкале на баке.

После окончания цикла проводят обратную промывку продолжительностью 30–60 с (до получения визуально прозрачной промывной воды).

Результаты определений расхода и объема фильтрата заносят в таблицу 11.1.

Таблица 11.1

Экспериментальные данные для построения графика снижения производительности ультрафильтрационного аппарата

Время t, мин	Расход фильтрата, л/ч	Удельный рас- ход фильтрата J, л/(м ² ·ч)	Объем фильтрата, л	Удельный объем филь- трата q, л/м ²	t / q	R _{общ} , м ⁻¹
0						
1						
2						
3						
4						
5						
10						
15						
20						
25						
30						

По результатам определений строят графики зависимости производительности мембранного аппарата от времени (см. рис. 11.1а) для рассматриваемых случаев и рассчитывают среднюю удельную производительность ультрафильтрационных мембран $q_{ср}$, м³/(ч·м²·атм), по формуле:

$$q_{cp} = \frac{W_{\phi}}{t_{\phi} \cdot F \cdot \Delta P \cdot 10^3}, \quad (11.10)$$

где W_{ϕ} – объем фильтрата, полученного за один фильтроцикл, л;

t_{ϕ} – продолжительность фильтроцикла, ч;

F – площадь мембран в мембранном аппарате, м²;

ΔP – рабочее давление фильтрования (перепад давления на мембране), атм.

Далее строят график в координатах $q - t/q$ (см. рис. 11.1б), рассчитывают величину R_m , строят зависимости $R_{общ}$ от q и J от t (см. рис. 11.2 и 11.3) и определяют величины R_3 , a , α , $\gamma_{ос}$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

ВЫБОР РЕЖИМА РАБОТЫ УСТАНОВКИ НАНОФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЦВЕТНОСТИ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

Общие положения

Метод нанофильтрации состоит в фильтровании через нанофильтрационные мембраны, имеющие размер пор 0,5–1,5 нм (размер пор ультрафильтрационных мембран – от 2 до 100 нм). Такие мембраны занимают промежуточное положение между мембранами обратного осмоса и ультрафильтрации. Через поры нанофильтрационных мембран свободно проходят молекулы воды, а одновалентные ионы Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- проходят частично, задерживаясь на 20–50 %. Двухвалентные ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} задерживаются гораздо лучше, селективность мембран по двухвалентным ионам составляет 75–90 %. Высокомолекулярные органические соединения, образующие цветность природной воды, задерживаются на 50–90 % в зависимости от величины молекулярной массы, традиционно измеряемой в мембранной практике в Дальтонах (1 Да = 1 атомная единицы массы). Это свойство мембран эффективно задерживать органические загрязнения может использоваться для снижения цветности и окисляемости природной воды.

На селективность мембран (величину задержания загрязнений) оказывают влияние их характеристики (пористость, поверхностный заряд, гидрофильность) и режимы эксплуатации установки (рабочее давление, концентрация загрязнений в исходной воде, величина выхода фильтрата), а также состав и свойства самих загрязнений.

Для проектирования систем снижения цветности необходимо уметь правильно выбрать как тип мембраны, так и эффективные режимы работы установки. Такие определения производятся экспериментально путем испытаний мембранных элементов на исходной воде заданного состава.

Оборудование, приборы, реактивы, посуда

1. Установка лабораторная:

– насос многоступенчатый центробежный WILO MVI108-1/25/E/1-230-5, подача 1 м³/ч, давление 25 атм, двигатель 0,75 кВт, 220 В;

– бак исходной воды – 100 л;

– бак фильтрата – 60 л;

– рулонный элемент типа ЭРН-Б-45-350 с нанофильтрационными мембранами ОПМН-П («Владипор»), производительность по фильтрату не менее 8 л/ч, селективность по NaCl – 55 %;

– трубопроводы, арматура.

2. Спектрофотометр UNICO 2100.

3. Портативный TDS-метр (солемер).

4. Мерные цилиндры 500 мл – 2 шт.

5. Колбы конические 250 мл – 4 шт.

6. Емкость для хранения имитата цветных вод.

7. Кружка фарфоровая или полиэтиленовая на 500 мл.

8. Торфяная вытяжка для приготовления имитата природных вод (см. лаб. раб. №3).

9. Секундомер.

10. Термометр.

Ход определения

Цель эксперимента – определение качества очистки природной воды от цветности с помощью нанофильтрационных мембран в зависимости от типа мембран, рабочего давления, выхода фильтрата.

Эксперименты проводятся на лабораторной установке с использованием рулонных элементов с нанофильтрационными мембранами различных типов (с различной селективностью).

В качестве исходной воды может использоваться природная речная вода или искусственно приготовленный раствор (имитат) из торфяной вытяжки. Цветность исходной воды должна быть в пределах 50–150 град.

--	--	--	--	--	--	--	--

После выхода установки на режим отбирают первую пробу фильтрата. Для различных значений α отбираются пробы фильтрата, в которых определяется цветность воды. Вторую пробу отбирают, когда объем накопленного фильтрата в баке фильтрата сравнивается с объемом концентрата в баке исходной воды (что соответствует значению $\alpha = 0,5$). После отбора пробы процесс продолжается. Отбор проб производится при значениях $\alpha = 0,66; 0,75$ и $0,85$. В процессе эксперимента также определяются расход фильтрата (с помощью мерного цилиндра и секундомера) и температура воды в баке 1.

С использованием каждого нового типа рулонного элемента устанавливаются необходимое рабочее давление, расход фильтрата, расход концентрата.

Процесс повторяется при изменении величины рабочего давления. Результаты экспериментов заносятся в таблицу 12.1.

По данным таблицы 12.1 строят графики зависимости цветности фильтрата от выхода фильтрата. Характер кривой показан на рис. 12.2.

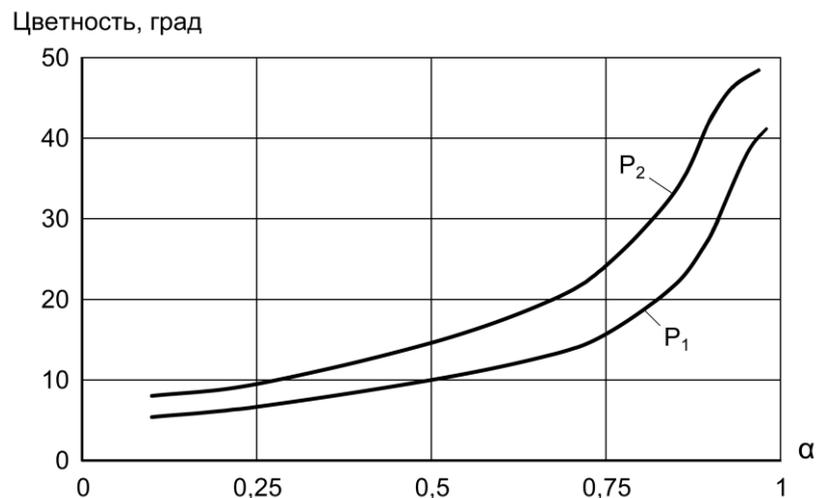


Рис. 12.2. Зависимость цветности фильтрата от выхода фильтрата