**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра водоснабжения и водоотведения

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД
И ОБРАБОТКА ОСАДКОВ

Лабораторный практикум по водоотведению
для студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Казань
2014

УДК 628.3
ББК 38.761.2
Б92

Б92 Очистка сточных вод и обработка осадков: Лабораторный практикум по водоотведению для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Сост: А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, Н.С. Урмитова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2014. – 63 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В лабораторном практикуме представлен порядок проведения лабораторных работ по дисциплине «Водоотведение и очистка сточных вод» и модулю «Очистка сточных вод»; дано описание лабораторных установок, методик проведения лабораторных работ и экспериментальных исследований, обработанные полученные опытные данные.

Данный лабораторный практикум разработан для проведения лабораторных работ со студентами направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной форм обучения.

Рецензент
Доцент кафедры теплоэнергетики Казанского государственного архитектурно-строительного университета
В.Н. Енюшин

УДК 628.3
БКК 38.761.2

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2014
© Бусарев А.В., Селюгин А.С., Урмитова Н.С., 2014.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……4
Лабораторная работа № 1. Изучение кинетики седиментации взвешенных веществ……..4
Работа № 1.1. Изучение кинетики седиментации взвешенных веществ на торсионных весах ……..4
Работа № 1.2. Изучение кинетики седиментации взвешенных веществ с помощью цилиндров Лысенко ……. 9
Лабораторная работа № 2. Очистка сточных вод методом электрофлотации …… 11
Лабораторная работа № 3. Очистка сточных вод методом ультрафильтрации ……... 18
Лабораторная работа № 4. Моделирование работы биофильтра……26
Лабораторная работа № 5. Моделирование работы аэротенка-смесителя……... 29
Лабораторная работа № 6. Очистка сточных вод методом коагуляции…… 34
Лабораторная работа № 7. Глубокая очистка сточных вод в скорых фильтрах……37
Лабораторная работа № 8. Обеззараживание сточных вод …….....40
Лабораторная работа № 9. Очистка сточных вод методом отстаивания…… 43
Лабораторная работа № 10. Моделирование работы метантенка….46
Лабораторная работа № 11. Обезвоживание осадков сточных вод с помощью центрифуги ……51
Лабораторная работа № 12. Обезвоживание осадков сточных вод с помощью камерных фильтр-прессов……...56
Список литературы…… 61

Введение

Данный лабораторный практикум составлен в соответствии с программами дисциплины «Водоотведение и очистка сточных вод» и модулем «Очистка сточных вод» и предназначен для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной форм обучения.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

– ознакомиться с устройством лабораторной установки и порядком проведения работы;

– ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении исследований;

– провести исследования;

– обработать результаты исследований;

– оформить отчет;

– защитить отчет.

Отчет выполняется в виде пояснительной записки, где приводятся цель работы, описание экспериментальной установки, методика проведения исследований и обработки результатов опытов.

Сборник включает 8 лабораторных работ по очистке сточных вод и обработке осадков.

Данные лабораторные работы выполняются несколькими студентами, а отчет составляется и защищается каждым студентом по отдельности.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ СЕДИМЕНТАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Работа № 1.1. Изучение кинетики седиментации взвешенных веществ на торсионных весах

1.1.1. Общие положения

Взвешенные в природной и сточной воде нерастворимые вещества – частички глины, песка, ила, гидроксидов металлов, планктонные организмы в состоянии покоя оседают на дно. На очистных сооружениях процесс осаждения (седиментации) протекает в отстойниках различных конструкций. Для расчета песколовок и отстойников необходим предварительный седиментационный анализ конкретной взвеси. Анализ заключается в нахождении скорости оседания или всплытия взвешенных

частиц U_0 , а также в определении размеров (радиусов) частиц. Обработка седиментационных кривых, полученных в ходе анализа, позволяет установить фракционный состав дисперсной системы или относительное содержание частиц в заданных интервалах радиусов.

В основе седиментационного анализа лежит закон Стокса, по которому сила трения f, возникающая при движении шарообразной частицы радиуса R со скоростью U_0 в среде с вязкостью η, выражается уравнением [1]:

$$f = 6\pi R U_0 . \qquad (1.1)$$

На частицу действует также сила тяжести и подъемная сила Архимеда. Эти силы постоянны и направлены в разные стороны. Равнодействующая сила F, вызывающая седиментацию (или обратную седиментацию), равна [1]:

$$F = \frac{4}{3}\pi R^3 (D - \rho) \cdot g , \qquad (1.2)$$

где D – плотность частиц дисперсной фазы; ρ – плотность среды; g – ускорение силы тяжести.

Под действием силы F частицы приходят в равномерно-ускоренное движение. В результате наложения противоположно направленных сил F и f частица далее движется равномерно с постоянной скоростью U_0, которая находится из уравнения [1]:

$$6\pi R U_0 = \frac{4}{3}\pi R^3 (D - \rho) \cdot g \quad . \qquad (1.3)$$

Следовательно, имеем [1]:

$$R = \sqrt{\frac{9\eta U_0}{2g(D - \rho)}} \quad . \qquad (1.4)$$

Так как для данной системы η и *(D – ρ)* – величины постоянные, то вводя в это уравнение постоянную K [1]:

$$K = \sqrt{\frac{9\eta}{2g(D - \rho)}} \quad . \qquad (1.5)$$

Значит, получаем [1] :

$$R = K\sqrt{U_0} \ . \qquad (1.6)$$

Уравнение (1.5) позволяет определить размеры частиц, выпадающих из суспензии в любой момент времени. Определив путь H, проходимый частицей за время осаждения t, находят U_0 [1]:

$$U_0 = \frac{H}{t} \ . \qquad (1.7)$$

Размеры крупных быстрооседающих частиц можно определить визуально путем микроскопирования. В реальных полидисперсных системах, каковыми являются природные и сточные воды, граница оседающего слоя размыта, поэтому их седиментационный анализ сводится к определению скорости накопления осадка. Как правило, экспериментально находят зависимость массы или объема осевшего осадка от времени. Относя количество взвеси, выпавшей за определенное время, к общему количеству взвеси, получают эффект осаждения A (%). Экспериментальные кривые седиментации позволяют определить возможный эффект осаждения в зависимости от времени отстаивания взвеси A = f (t) (рис. 1.1а) или от гидравлической крупности частиц A = f(U_0) (рис. 1.1б).

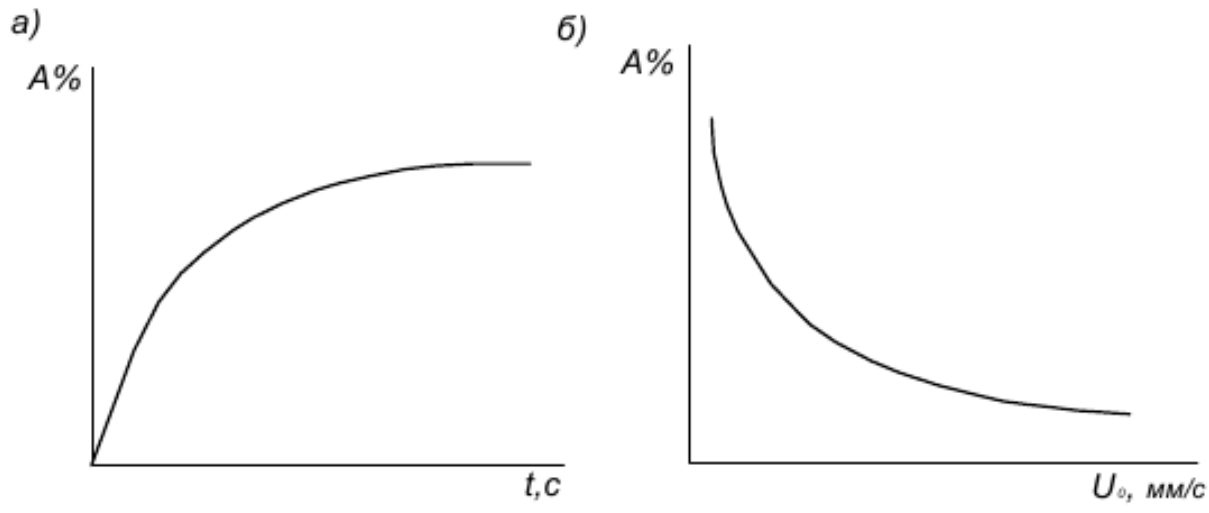

Рис. 1.1. Кривые седиментации взвешенных веществ

Для полной характеристики дисперсной системы необходимо знать еще относительное содержание частиц различных размеров, т.е. получить так называемую «кривую распределения». Кривые седиментации удобно получать с помощью торсионных весов, позволяющих точно контролировать процесс осаждения.

1.1.2. Цель работы

Целью данной лабораторной работы является изучение сущности седиментационного анализа; изучение устройства и правил работы на торсионных весах; изучение кинематики седиментации взвешенных веществ в дисперсной среде с использованием торсионных весов; изучение процесса построения кривых седиментации.

1.1.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной работы необходимо иметь: весы торсионные типа ВТ-500;секундомер; мерный стакан объемом 1 дм^3; мешалку.

1.1.4. Описание лабораторной установки

Внешний вид установки и устройство торсионных весов приведены на рис. 1.2.

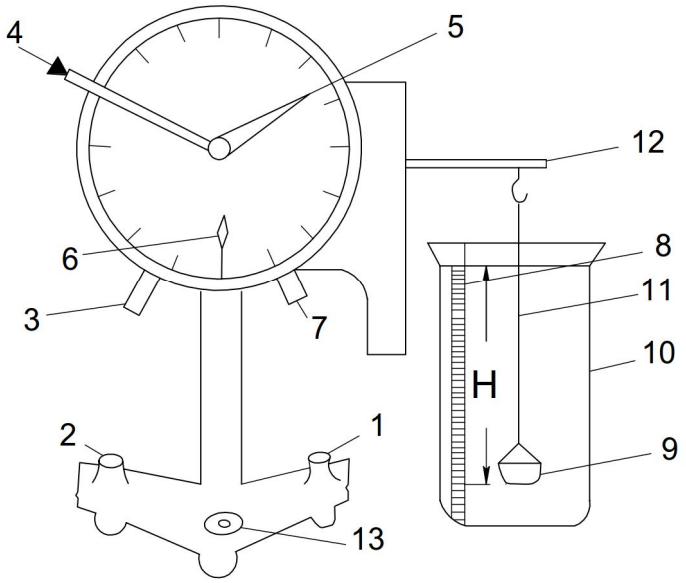

Рис. 1.2 . Схема торсионных весов

1,2 – опорные винты; 3 – арретир; 4 – рычаг стрелки; 5 – стрелка весов; 6 – стрелка-указатель равновесия; 7 – винт: 8 – миллиметровая шкала; 9 – чашка для осадка;10 – стакан для взвеси; 11– стеклянная палочка; 12 – коромысло весов с крючком; 13 – уровень

Подготовку и настройку весов к работе проводит преподаватель. Студенты приступают к работе с разрешения преподавателя после собеседования. В случае необходимости, совместно с преподавателем студенты могут корректировать настройку весов посредством опорных винтов 1, 2 по уровню 13. После этого, открыв арретир 3, устанавливают стрелку 5 на нуле с помощью рычага 4. При правильно установленных весах стрелка-указатель равновесия 6 находится на нулевом делении шкалы. Если равновесие смещено, его выравнивают при помощи винта 7, затем арретир закрывают.

1.1.5. Порядок проведения работы

Для данной работы готовят модель из водопроводной воды и каолина. Измерения проводят при комнатной температуре. В стакан 10, емкостью 1,0 дм^3 с исследуемой суспензией опускают чашку 9 так, чтобы не захватить пузырьки воздуха (опускать боком). Опустив чашку у стенки стакана на глубину 1–2 см от уровня жидкости, держат ее с помощью пинцета в таком положении. Другой рукой с помощью мешалки тщательно перемешивают содержимое стакана. Мешалку вынимают, а чашку весов опускают на глубину H=230 мм. В этот момент открывают арретир 3 и включают секундомер. Через заданные промежутки времени фиксируют массу чашки с осадком. Масса осадка P равна разности массы чашки с осадком в воде и массы пустой чашки в дистиллированной воде P_0.

В упрощенном варианте весы настраивают на «0» в чистой воде с помощью винта 7. Затем мешалкой взмучивают взвесь, опускают чашку весов, включают арретир 3 и секундомер. Величину P сразу заносят в табл. 1.1. Опыты прекращаются после того, как в последних двух–четырех замерах масса осадка практически не меняется. Масса осадка последнего замера принимается за 100% [1]. Эффект осаждения A, (%), рассчитывается по формуле [1]:

$$A = \frac{P_n \cdot 100}{P}, \qquad (1.8)$$

где P – масса осадка, выпавшего за 60 минут (принимается за 100%), мг; P_n – масса осадка, выпавшего за период времени, мг.

Гидравлическая крупность U_0 мм, определяется по формуле (1.7). Результаты исследования заносятся в табл. 1.1, по данным которой строятся зависимости: $A = f(U_0)$ и $A = f(t)$.

Таблица 1.1

Показатели	Время t, мин					
	1	5	10	20	30	60
Масса осадка, Р , мг						
Эффект осаждения, А ,%						
Гидравлическая крупность, U_0 , мм/с						

Работа № 1.2. Изучение кинетики седиментации взвешенных веществ с помощью цилиндров Лысенко

1.2.1. Общие положения

Для построения кривых седиментации можно использовать стеклянные цилиндры Лысенко объемом 1 л. Эффект осаждения А, %, определяется по формуле [2]:

$$A = \frac{W}{W_n} \cdot 100, \qquad (1.9)$$

где W – объем осадка, накопившегося за время t, см^3; W_n – объем осадка, накопившегося за 60 мин.

Объем осадка, накопившегося в цилиндре Лысенко за время t, W, см^3, составляет [2]:

$$W = \frac{\pi d_ц^2}{4} h_t, \qquad (1.10)$$

где h_t – высота слоя осадка, накопившегося в цилиндре Лысенко за время t, см.

1.2.2. Цель работы

Целью данной лабораторной работы является изучение сущности седиментационного анализа; изучение кинематики седиментации взвешенных веществ в дисперсной среде с использованием цилиндров Лысенко; изучение процесса построения кривых седиментации.

1.2.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь: шесть цилиндров Лысенко; секундомер; штангенциркуль; мешалки.

1.2.4. Описание лабораторной установки

Шесть цилиндров Лысенко закрепляются в штативе строго вертикально, но так чтобы их можно было свободно вращать вокруг оси.

1.2.5. Порядок проведения опытов

Опыты проводятся при комнатной температуре. Готовится модель из водопроводной воды и каолина, которые заливаются в цилиндры. Высота слоя суспензии в цилиндрах составляет $H_ц$=300 мм. Суспензия в цилиндрах перемешивается мешалками, после чего запускается секундомер. Через 1, 5, 10, 20, 30 и 60 мин измеряется высота слоя осадка на дне определенного цилиндра.Объем осадка, накопившегося в каждом цилиндре, определяется по формуле (1.10). Эффект осаждения определяется по формуле (1.9). Гидравлическая крупность взвеси U_0, мм, определяется по формуле [1]:

$$U_0 = H_ц / t \,, \qquad (1.11)$$

где t – время осаждения взвеси в данном цилиндре, мм.

Результаты исследований заносятся в табл. 1.2. По данным табл. 1.2 строится график зависимости $A = f(U_0)$

Таблица 1.2

Показатели	Время t, мин					
	1	5	10	20	30	60
Объем осадка, W ,см^3						
Эффект осаждения, A, %						
Гидравлическая крупность, U_0, мм/с						

Лабораторная работа № 2

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ

2.1. Общие положения

Флотация – это процесс молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз: газа (воздуха) и жидкости, обусловленный избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания. Процесс очистки сточных вод методом флотации заключается в образовании комплексов «частицы-пузырьки», их всплывании и удалении образовавшегося пенного слоя с поверхности жидкости [3].

Для осуществления процесса флотации используют несколько способов диспергирования газа в воде, одним из которых является электрический. При нем насыщение воды пузырьками газа достигается электролизом воды. Различают следующие виды электрообработки сточных вод: удаление растворенных и взвешенных примесей органического и неорганического происхождения электролизом сточных вод с использованием растворимых (железных или алюминиевых) электродов – анодов; удаление взвешенных, частично растворенных загрязнений с использованием нерастворимых электродов; удаление растворенных примесей с использованием анодного окисления и катодного восстановления, сопровождаемых образованием нетоксичных (малотоксичных), а в некоторых случаях – нерастворимых в воде продуктов, выпадающих в осадок [3].

Процесс электролиза воды в кислой среде (при pH<7) включает две основные стадии. На первой происходит разряд ионов гидроксония на катоде с образованием атомарного водорода, адсорбированного на его поверхности. На следующей стадии – рекомбинация его в молекулярный. В зависимости от материала электродов и параметров электролиза может преобладать каталитический или электрохимический механизм процесса:

$$H_3O^+ + e + (H - Me) \rightarrow H_2O + H_2 + Me \qquad (2.1)$$

или

$$2H_3O^+ + 2e + Me \rightarrow 2H_2O + 2(H + Me) \qquad (2.2)$$

$$2(H - Me) \rightarrow H_2 + Me\,.$$

На аноде в этих условиях идет разряд молекул воды [3]:

$$H_2O - 2e \rightarrow 1/2O_2 + 2H^+\ . \qquad (2.3)$$

Электролиз воды в щелочной среде происходит при недостаточности катионов водорода, путем прямого восстановления молекул воды на

поверхности катода. В результате этой реакции образуется атом гидроксида и адсорбированный атомарный водород, затем рекомбинирующийся в молекулярный по схеме [3]:

$$2H_2O + 2e + Me \rightarrow 2OH^- + 2(H - Me) \rightarrow H_2 + 2OH^- + Me. \quad (2.4)$$

Анодный процесс в данном случае определяется разрядом гидроксидов [3]:

$$2OH^- - 2e \rightarrow 1/2O_2 + H_2O. \quad (2.5)$$

Таким образом, в процессе электролиза сточной воды на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород. Основную роль в процессе флотации играют пузырьки, выделяющиеся на катоде. Размер пузырьков зависит от величины краевого угла смачивания, кривизны поверхности электрода и его конфигурации. При использовании нерастворимых электродов пузырьки выделяющихся газов сорбируют на своей поверхности загрязнения и поднимаясь вверх, выносят их на поверхность жидкости [3].

Конструкция электродной системы в электрофлотаторе позволяет равномерно распределить пузырьки газа по всему объему флотокамеры, что повышает коэффициент использования ее объема, а значит и эффективность очистки. При электрофлотации образуются только мелкие пузырьки газа практически одного размера, обладающие высокой адгезионной активностью и всплывающие при ламинарном режиме, что также способствует повышению эффективности очистки сточных вод [3].

Основным недостатком электрохимических методов очистки сточных вод является их высокая энергоемкость, поэтому их применяют при расходе сточных вод не более 1000 м^3/сут [3].

Метод электрофлотации применяют для очистки производственных сточных вод от поверхностно-активных веществ (природных и синтетических), жиров, нефтепродуктов и т.п. Плотность тока при электрофлотации составляет 0,5–3 А/дм^2 [3].

Для очистки сточных вод от красителей и ПАВ используется метод электрохимической деструкции при плотности тока 1–2 А/дм^2. Сила тока при электрофлотации I , А, определяется по формуле [3]:

$$I = J_a \cdot F, \quad (2.6)$$

где J_a – анодная плотность тока, А/дм^2; F – площадь электродов, дм^2.

Удельные затраты электроэнергии W, Вт-ч/л, определяются по формуле [3]:

$$W = \frac{I \cdot U \cdot t}{V}, \quad (2.7)$$

где U – напряжение ,В; t – продолжительность электрообработки, ч; V – объем обрабатываемой жидкости, л.

Эффект очистки при электрообработке $Э$, %, определяется по формуле [3]:

$$Э = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%, \qquad (2.8)$$

где C_1 и C_2 – концентрация загрязняющего вещества в исходной и обработанной воде, мг/л.

2.2. Цель работы

Целью данной работы является изучение процессов очистки сточных вод методом электрофлотации.

2.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь: электрофлотатор; источник питания с устройством управления; секундомер; спектрофотомер.

2.4.Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 2.1. Лабораторная установка состоит из модели электрофлотатора и источника питания типа HY3005. Модель электрофлотатора выполнена из оргстекла и состоит из двух флотокамер 1, отстойной камеры 2 и пеносборного кармана 3. Во флотокамерах установлены электродные блоки, состоящие из нерастворимых анодов 4 и катодов 5. В перегородках, разделяющих флотокамеры, отстойную камеру и пеносборник, имеются щелевые отверстия 6 , через которые обработанная жидкость из флотокамер 1 поступает в отстойную камеру 2, а образовавшийся в флотокамерах пенный продукт – в пеносборник 3. Электрофлотатор сверху закрыт крышкой **7,** в которой имеются отверстия 8, через которые выделяющийся в процессе электрофлотации газ отводится в систему вентиляции. В отстойной камере 2 имеется патрубок 9, по которому обработанная в электрофлотаторе жидкость отводится в емкость 11. Из пеносборника 3 пенный продукт отводится через патрубок 10.

Флотокамеры имеют размеры 65×55×160 мм и объем 0,52 л; камера отстаивания – 130×50×160 мм и объем 1,04 л; пеносборник имеет размеры 105×40×160 мм и объем 0,6 л. Электроды имеют размеры 65×35 мм; расстояние между электродами составляет 15 мм [3].

Электропитание лабораторной установки осуществляется от источника питания HY3005, который представляет высокостабильный регулируемый агрегат питания постоянного тока с регулируемым выходным напряжением и регулируемым выходом по току.

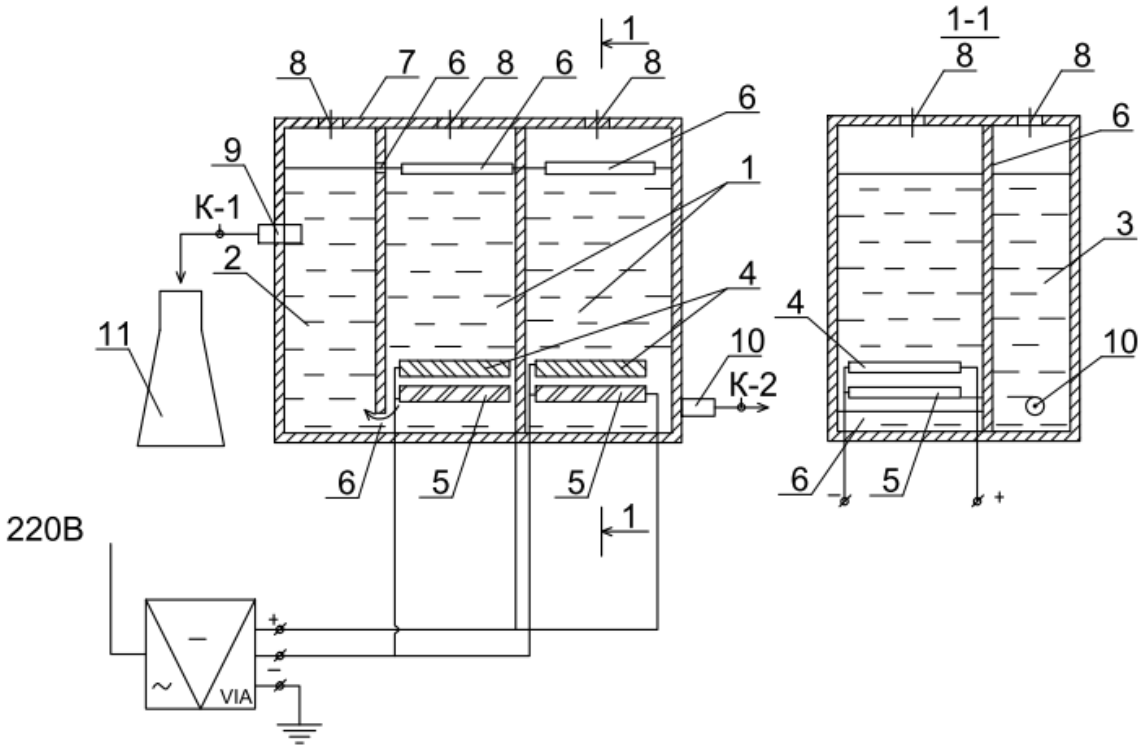

Рис. 2.1. Схема лабораторной установки

Прибор имеет цифровую индикацию напряжения от 0 до 30 В и тока – от 0 до 5 А. Источник питания HY 3005 предназначен для стабилизации постоянного напряжения или тока в зависимости от установленного режима, имеет плавную регулировку выходного напряжения и тока, которая осуществляется с передней панели и имеет грубую и точную настройку. Предусмотрена работа прибора как с изолированным выходом, так и при заземлении клеммы любой полярности. Прибор имеет защиту от короткого замыкания. В приборе использована линейная схема преобразования переменного напряжения в стабилизированное напряжение постоянного тока заданной силы [3].

Включение прибора с ограничением по току [3]:

а) подключить прибор к заземляющему контуру через терминал подключения заземления 9;

б) подключить шнур питания прибора к сети однофазного переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц;

в) установить ступенчатый регулятор напряжения 6 и плавный регулятор напряжения 5 по часовой стрелке на максимальную позицию;

г) установить ступенчатый регулятор тока нагрузки 4 и плавный регулятор тока нагрузки 3 против часовой стрелки на минимальную позицию.

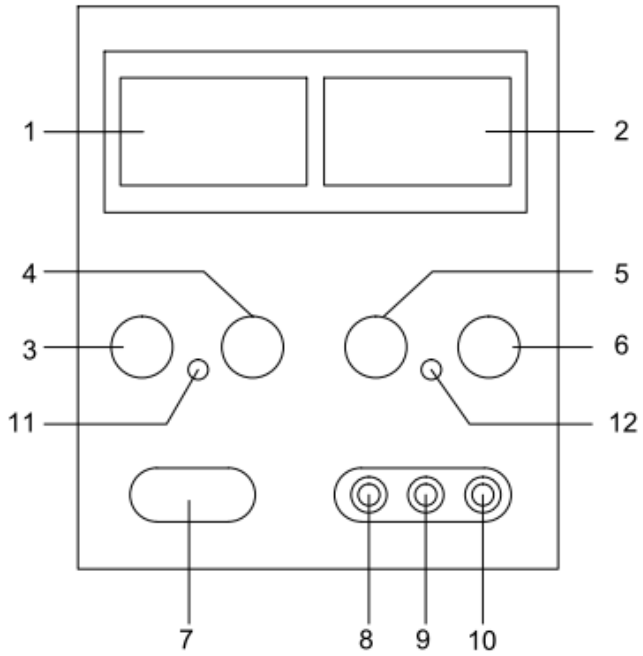

Рис. 2.2. Передняя панель прибора HY 3005:
1 – цифровая шкала амперметра; 2 – цифровая шкала вольтметра; 3 – плавный регулятор тока нагрузки; 4 – ступенчатый регулятор тока нагрузки; 5 – плавный регулятор напряжения; 6 – ступенчатый регулятор напряжения; 7 – выключатель; 8 – отрицательный выходной терминал; 9 – терминал подключения заземления; 10 – положительный выходной терминал; 11 – светодиодный индикатор выходного тока; 12 – светодиодный индикатор выходного напряжения

д) включить прибор выключателем 7;

е) подсоединить электрофлотатор комплектом соединительных проводов на выходные терминалы 8 и 10;

ж) ступенчатым регулятором тока нагрузки 4 и плавным регулятором тока нагрузки 3 установите заданный выходной ток.

2.5. Порядок проведения работы

Изучение метода электрофлотации производится применительно к очистке сточных вод от синтетических красителей. До начала лабораторной работы приготавливают шкалу растворов красителя с концен-

трациями 5,10,20.50 и 100 мг/л. Каждый раствор фотометрируют на спектрофотометре КФК. По результатам фотометрирования строится калибровочный график [3].

С электрофлотатора снимают крышку 7 и заполняют его сточной водой, загрязненной красителем в концентрации 50–100 мг/л. Для определения точной концентрации красителя отбирают пробу раствора, на спектрофотометре КФК определяют его оптическую плотность и по калибровочной кривой – концентрацию красителя в исходном растворе. Полученные значения записывают в табл. 2.1. Крышку закрывают и проверяют надежность всех электрических соединений и заземление выпрямителя [3].

Параметры «плотность тока» и «продолжительность обработки» принимаются по заданию. Рекомендуемые значения плотности тока 1–3 А/дм^2, время обработки 5–25 минут [3].

Внимание: в случае короткого замыкания на выходе ток ограничится величиной, установленной текущими элементами управления, тем не менее устройство должно быть выключено, а короткое замыкание устранено.

Используя формулу (2.6) определяют силу тока, которая должна быть установлена в цепи электрофлотатора после его включения, и записывают эту величину в табл. 2.1. Включают источник питания и регуляторами тока нагрузки устанавливают заданное значение тока нагрузки, начиная с минимальной величины. Через интервалы времени 5, 10, 15, 20 и 25 минут открытием крана К-1 отбирают пробы жидкости, и на спектрофотометре КФК определяют величину оптической плотности. По калибровочной кривой определяют концентрацию красителя, и полученные значения заносят в табл.2.1.

Таблица 2.1

Номер опыта	Анодная плотность тока, А/м^2	Сила тока, А	Напряжение, В	Продолжительность обработки, ч	Концентрация красителя, мг/л	
					в исходном растворе	в обработанном растворе
1	2	3	4	5	6	7

Затем увеличивают плотность тока и повторяют опыты в описанной выше последовательности. По окончании опытов прибор выключают и обесточивают выдернув вилку из розетки. Отсоединяют соединительные провода электродного блока от выходных терминалов. Снимают крышку

вместе с электродными блоками. Электрофлотатор опорожняют и промывают водой.

2.6. Обработка опытных данных и составление отчета

По формуле (2.7) определяются удельные затраты электроэнергии, а по формуле (2.8) – эффект очистки. Результаты расчетов заносятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Номер опыта	Анодная плотность тока, А/м^2	Продолжительность обработки, t, ч	Эффект очистки, Э,%	Удельные затраты электроэнергии, W, $\frac{Вт-ч}{л}$
1	2	3	4	5

По данным табл. 2.2 для каждого значения анодной плотности тока строится график зависимости $Э = f(t)$.По данным графикам определяется оптимальная плотность тока, для которой строится график зависимости $W = f(t)$.

Дается заключение об оптимальных режимах работы установки и эффективности очистки воды электрофлотацией.

2.7. Меры безопасности при проведении лабораторной работы

При проведении лабораторной работы на электрофлотационной установке необходимо соблюдать общие правила техники безопасности при работе с электрическими приборами. Студенты, выполняющие данную лабораторную работу, должны пройти инструктаж по технике безопасности при работе с электроприборами. Так как при электролизе жидкости выделяются газы (водород, кислород), электрофлотатор должен иметь систему вытяжной вентиляции или должен быть установлен в вытяжном шкафу [3].

Источник питания должен располагаться в сухом, отапливаемом помещении, где отсутствуют любые агрессивные пары, вдали от предметов, излучающих тепло. К нему необходимо обеспечить свободный доступ воздуха. Источник питания должен быть заземлен.

Перед началом лабораторной работы необходимо произвести внешний осмотр источника питания, ознакомить студентов с расположением элементов управления и индикации измерительных данных

источника питания HY-3005, объяснить правила включения и выключения, порядок установки требуемых величин силы тока и напряжения [3].

Категорически запрещается [3]:

– работать с незаземленным источником питания;
– нарушать правила его эксплуатации (включение, выключение, регулирование параметров);
– производить ремонт при включенном в сеть источнике питания;
– дотрагиваться до находящихся под напряжением контактов;
– снимать крышку электрофлотатора во время его работы;
– работать с электрофлотатором в местах, не оборудованных принудительной приточно-вытяжной вентиляцией.

Лабораторная работа № 3

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ

3.1. Общие положения

При разделении различных технологических растворов, их концентрировании, очистке природных и сточных вод успешно применяется баромембранная технология разделения, которая отличается от традиционных методов разделения отсутствием фазового перехода, возможностью проведения ее при температуре окружающей среды, относительной простотой конструкции аппаратов. Ультрафильтрация является одним из баромембранных методов разделения, осуществляемых за счет разности давления до и после мембраны. Классификация ультрафильтрационных процессов осуществляется либо по размеру задерживаемых частиц, либо по задерживаемой массе.

По размеру пор мембран и, соответственно, размеру задерживаемых примесей различают: микрофильтрацию (размер пор 0,01–1мкм), ультрафильтрацию (0,001–0,01 мкм), нанофильтрацию (0,0001–0,001 мкм) и обратный осмос (< 0,0001мкм) [4].

Все виды мембран имеют определенные требования к качеству исходной воды. Наименее требовательными являются мембраны микро- и ультрафильтрации, допускающие обработку хлорированной воды, относительно высокое содержание взвешенных частиц и работу в широком диапазоне pH (от 1 до 13). Для мембран нанофильтрации и обратного осмоса обычно требуется предварительная обработка воды, заключающаяся в удалении взвешенных частиц, растворенного железа и нейтрализации окислителей. Поэтому микро- и ультрафильтрацию применяют как для подготовки питьевой воды, так и для очистки сточной воды,

а нанофильтрацию и обратный осмос – только для подготовки питьевой воды [4].

Задержание ультрафильтрационной мембраной растворенных молекул или диспергированных частиц происходит вследствие того, что размер частиц больше размера пор в мембране, а также за счет адсорбции частиц поверхностью мембран и вследствие блокирования частиц внутри пор. Основной является первая причина.

Принципиальное различие процессов фильтрования и ультрафильтрации заключается в том, что при фильтровании извлекаемые из воды частицы остаются либо на поверхности, либо в объеме фильтрующей среды, которую либо периодически заменяют (медленные и намывные фильтры), либо регенерируют обратной промывкой (скорые фильтры). При ультрафильтрации образуются два раствора: фильтрат (пермиат) и концентрат, обогащенный удаляемым веществом [4].

Ультрафильтрация осуществляется при давлении 0,1–0,6 МПа. Эффективность ультрафильтрации в значительной степени зависит от проницаемости мембраны и ее способности задерживать какое-либо вещество и характеризуется коэффициентом задержания (селективностью).

Проницаемость G, $м^3/(м^2 \cdot ч)$, определяется по формуле [4]:

$$G = W_ф / F_м \cdot t \,, \qquad (3.1)$$

где $W_ф$ – объем фильтрата, $м^3$; $F_м$ – площадь мембран, $м^2$;
t – продолжительность опыта, ч.

Селективность φ, %, определяется по формуле [4]:

$$\varphi = \frac{C_0 - C_K}{C_0} \cdot 100\,\%\,, \qquad (3.2)$$

где C_0 – концентрация растворенного вещества в воде, поступающей на очистку, мг/л; $C_к$ – концентрация данного вещества в фильтрате, мг/л.

3.2. Цель работы

Целью данной работы является изучение процессов очистки сточных вод методом ультрафильтрации.

3.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь: секундомер; лабораторную установку УПЛ- 0,6; мерный стеклянный

цилиндр объемом 100 мл; оборудование для определения минерализации воды (сухой остаток).

3.4. Описание лабораторной установки

Лабораторная ультрафильтрационная установка УПЛ-0,6 состоит из прибора с кронштейном для крепления разделительного аппарата АР-0,2Н, соединительных шлангов вентилей и манометров [4]. Схема лабораторной установки приведена на рис. 3.1.

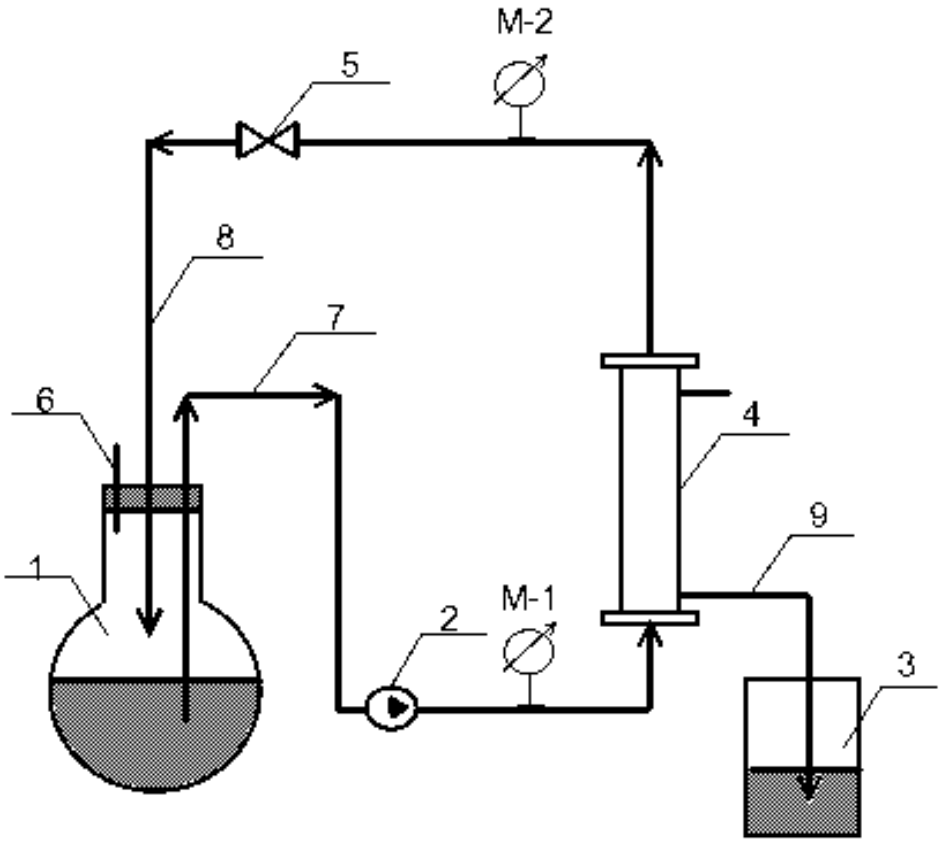

Рис. 3.1. Схема ультрафильтрационной установки

Лабораторная установка состоит из емкости исходной жидкости 1, перистальтического насоса 2, емкости фильтрата 3 и аппарата разделительного на полых волокнах АР-0,2Н 4 с площадью фильтрования 0,1 м^2. Для измерения давления на входе и выходе из аппарата 4 установлены манометры М1 и М2. Из емкости 1 исходная жидкость по трубопроводу 7 поступает в насос 2. На циркуляционном трубопроводе 8 установлен подпорный вентиль 5. Трубопровод 6 служит для удаления газа из емкости 1. Установка работает по замкнутой схеме «емкость 1 – насос – разде-

лительный аппарат – емкость 1». Технические характеристики ультрафильтрационной установки УПЛ-0,6 приведены в табл. 3.1 [4].

Ультрафильтрационный разделительный аппарат АР-0,2н представляет собой прозрачный цилиндр из органического стекла, в котором расположен пучок параллельно уложенных полых волокон. Концы волокон герметично закреплены в корпусе аппарата заливочным композитом. Раствор подается и отводится из корпуса аппарата АР-0,2Н через торцевые штуцеры. Фильтрат отводится через боковые штуцеры [4].

Работа электродвигателя насоса Н1 регулируется блоком питания, который позволяет изменять скорость его вращения. Рабочее давление ультрафильтрации устанавливается подпорным вентилем 5 и контролируется манометром М2. Перепад давления в разделительном аппарате определяется разностью показаний манометров М-1 и М-2 [4].

На рис. 3.2 представлен внешний вид передней панели прибора АПЛ-0,6.

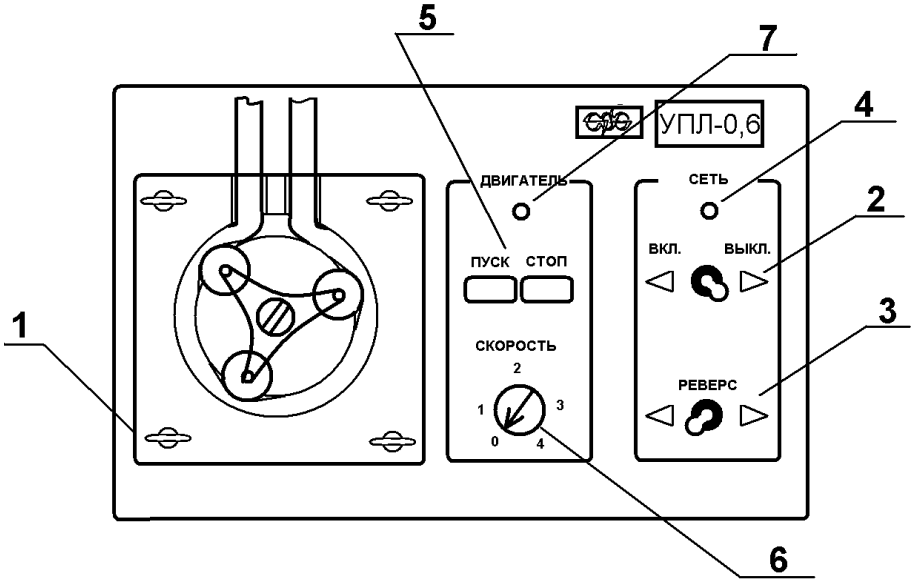

Рис. 3.2. Передняя панель прибора АПЛ-0,6:
1 – посадочное гнездо для крепления перистальтического насоса; 2 – выключатель питания прибора «ВКЛ./ВЫКЛ.»; 3–переключатель «РЕВЕРС», меняющий направление вращения вала насоса; 4 – индикатор питания; 5 – выключатель «ПУСК/СТОП» двигателя; 6 – регулятор частоты вращения двигателя насоса; 7 – индикатор включения двигателя

На передней панели прибора с помощью четырех винтов крепится перистальтический насос. В корпусе прибора смонтирован блок питания электропривода перистальтического насоса, электродвигатель постоянного тока и редуктор. Блок питания состоит из силового понижающего трансформатора, выпрямителя, стабилизатора постоянного напряжения, регулятора частоты вращения электропривода. Блок питания предназначен

для выпрямления переменного напряжения 220В в пониженное постоянное напряжение от 0,1В до 40В, питающее электродвигатель постоянного тока с понижающим редуктором, который предназначен для создания вращающего момента на валу перистальтического насоса [4].

Таблица 3.1

Технические характеристики	Пределы измерения
Производительность по дистиллированной воде при давлении 0,1МПа и температуре +20°С, л/ч	9,5 – 26,5
Площадь фильтрования, $м^2$	0,2
Максимальное рабочее давление, МПа	0,2
Габаритные размеры аппарата АР-0,1Н (длина, диаметр), мм	510×45
Тип волокна	ВПУ-15ПА по ТУ6-06-31-529-86
Метод стерилизации	Химический: смесь 1% раствора муравьиной кислоты и 3% перекиси водорода, а затем 3%-й раствор перекиси водорода
Напряжение питания, В	220 ±10%
Выходное напряжение блока питания, В	0,1 – 40
Выходной ток, А	0 – 5
Световая индикация включения в сеть	Есть
Световая индикация включения электродвигателя	Есть
Масса, кг	7
Габаритные размеры, мм	410×610×420

На задней панели прибора расположены четыре сменных предохранителя, штепсельный разъем крепления сетевого шнура, гнездо для подключения заземления. Аппарат разделительный АР-0,2Н оборудован двумя манометрами на давление $Р_{макс}$=16 кГс/$см^2$ с фланцевым креплением; вентилем подпорным с фланцевым креплением, регулирующим перепад давления на разделительном аппарате; кронштейном крепления.

Перед началом работы лабораторной установки необходимо убедиться в исправности электрического и насосного оборудования. Перед

запуском этой установки требуется произвести технологическое обслуживание аппарата АР-0,2Н. Если в установке используется новый разделительный аппарат в заводской упаковке, то его необходимо раскон-сервировать. Для удаления консерванта с волокон необходимо промыть аппарат дистиллированной водой в течение 30 минут при температуре $+20^0$С и давлении 0,1МПа [4].

По окончании лабораторной работы необходимо провести прямую и обратную промывку аппарата дистиллированной водой в течение 10 минут, затем 1%-м раствором едкого натрия в течение 30 минут и вновь дистиллированной водой до нейтральной реакции.

Температура воды и раствора щелочи не должна превышать $+20^0$С. Регенерация волокон осуществляется при давлении 0,1 МПа [4]. Если промежуток между лабораторными работами не превышает двух суток, то аппарат АР-0,2Н заливается дистиллированной водой. При более длительном интервале между лабораторными работами производится консервация волокон, для чего в аппарат АР-0,2Н заливается консервант, который состоит из 5% формалина, 30% глицерина и 65% воды. Через 8 часов консервант удаляется [4].

Стерилизация аппарата АР-0,2Н производится при очистке сточной воды от биологически активных веществ. После стерилизации аппарат АР-0,2Н в течение 10 минут промывается дистиллированной водой при температуре $+20^0$С и давлении 0,1МПа [4].

3.5. Порядок проведения лабораторной работы

Перед началом лабораторной работы необходимо [4].

– приготовить модельный раствор (поваренная соль в водопроводной воде);

– проверить заземление установки, надежность крепления соединительных шлангов;

– полностью открыть подпорный вентиль 5;

– регулятор «СКОРОСТЬ» установить в минимальное положение;

– переключатель «РЕВЕРС» установить в крайнее левое положение путем вращения против часовой стрелки.

Проведение лабораторной работы [4]:

– залить в емкость 1 хорошо перемешанный модельный раствор;

– из емкости 1 отобрать пробу жидкости для определения ее минерализации;

– подключить сетевой шнур установки к сети переменного тока;

– включить электропитание установки, установив тумблер «СЕТЬ» в положение «ВКЛ»;

– включить двигатель насоса кнопкой «ПУСК»;

– регулятором «СКОРОСТЬ» установить подачу жидкости в разделительный аппарат (во избежание разрыва полых волокон увеличивать подачу следует постепенно);

– подпорным вентилем В1 и регулятором «СКОРОСТЬ» по показаниям манометра М2 установить давление 0,05МПа (0,5кгс/см^2);

– через 15 минут отобрать пробу фильтрата из емкости 2 для определения минерализации;

– кнопкой «СТОП» остановить насос;

– определить объем фильтрата при помощи мерного цилиндра;

– остаток фильтрата из емкости 3 вылить; емкость промыть водопроводной водой и установить в рабочее положение;

– повторить опыты при давлении 0,1МПа (1 кгс/см^2); 0,15МПа (1,5 кгс/см^2); 0,2МПа (2 кгс/см^2);

– по окончании опытов кнопкой «СТОП» остановить насос, перевести тумблер «СЕТЬ» в положение «ВЫКЛ.», отключить установку УПЛ-0,6 от сети;

– осуществить меры по консервации установки, изложенные в п.3.;

– опорожнить емкости 1 и 3 и промыть их водопроводной водой.

3.6. Обработка опытных данных

Результаты опытов заносятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Результаты опытов и обработки опытных данных

Давление на входе в аппарат АР-0,2Н, МПа	Концентрация солей, мг/л		Объем фильтрата, $W_ф$, м^3	Проницаемость, G, м^3/(м^2·ч)	Селективность, φ, %
	в исходной воде, C_0	в фильтрате, $C_к$			
1	2	3	4	5	6

По формуле (3.1) определить проницаемость, а по формуле (3.2) – селективность мембран. Результаты расчетов занести в табл. 3.2.

По данным табл. 3.2 построить графики зависимости $G = f(P_{вх})$ и $\varphi = f(P_{вх})$. По графикам выбрать оптимальное рабочее давление на вводе в аппарат АР-0,2Н.

3.7. Меры безопасности при работе на установке УПЛ-0,6

Установка УПЛ-0,6 имеет в своем составе перистальтический насос с электродвигателем постоянного тока, блок питания и разделительный аппарат, работающий под избыточным давлением, поэтому необходимо соблюдать правила эксплуатации электроустановок и сосудов, работающих под давлением [4].

Студенты, выполняющие данную лабораторную работу, должны пройти инструктаж по технике безопасности при работе с электронасосным оборудованием и сосудами (аппаратами), работающими под давлением.

Установка УПЛ-0,6 должна быть установлена в сухом отапливаемом помещении, где отсутствуют любые агрессивные пары, вдали от предметов, излучающих тепло. К установке должен быть обеспечен свободный доступ. Корпус установки УПЛ-0,6 должен быть надежно заземлен [4].

Перед началом работы необходимо произвести внешний осмотр установки УПЛ-0,6, проверить надежность закрепления соединительных шлангов, работу вентиля 5, ознакомить студентов с назначением и расположением органов управления на передней панели прибора, объяснить правила включения и выключения прибора, установки необходимых величин скорости вращения и давления в разделительном аппарате [4].

Во время проведения лабораторной работы необходимо следить за герметичностью всех соединений, не допуская утечки жидкости. В случае обнаружения утечки необходимо сбросить давление, выключить установку и устранить неисправность [4].

Во избежание разрыва полых волокон, подачу жидкости следует увеличивать медленно, постепенно повышая давление [4].

Во время работы аппарата максимальное рабочее давление не должно превышать 0,2МПа (2 кгс/см^2) [4].

Категорически запрещается [4]:

– работать с незаземленным блоком питания;

– нарушать правила эксплуатации установки (включения, выключения, регулирования параметров);

– производить ремонт при включенном в сеть блоке питания;

– устранять утечки, не выключив аппарат.

Лабораторная работа № 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БИОФИЛЬТРА

4.1. Общие положения

Биологические фильтры (биофильтры) представляют собой сооружения биологической очистки, в которых сточная вода фильтруется через загрузочный крупнозернистый материал, покрытый биологической пленкой (биопленкой), образованной колониями аэробных микроорганизмов. Взвешенные вещества, а также коллоидные и растворенные органические загрязнения, содержащиеся в неочищенной сточной воде, при прохождении через фильтрующую загрузку биофильтра сорбируются биопленкой. Густо заселяющие биопленку микроорганизмы окисляют органические вещества и отсюда получают энергию, необходимую для своей жизнедеятельности. Таким образом из сточной воды удаляются органические вещества и одновременно увеличивается масса активной биопленки в теле биофильтра. Отработавшая и омертвевшая биопленка смывается протекающей сточной водой и выносится из биофильтра. Кислород, необходимый для биохимического процесса, поступает в толщу загрузки путем естественной или искусственной вентиляции [5].

Биофильтры могут работать на полную и неполную биологическую очистку. Они классифицируются по различным признакам, основным из которых является конструктивная особенность загрузочного материала. По этому признаку биофильтры делятся с объемной и плоскостной загрузкой. На практике при строительстве очистных сооружений наиболее широкое распространение нашли биофильтры с объемной нагрузкой: капельные, высоконагружаемые, башенные. Капельные биофильтры имеют высоту слоя загрузки 1–2 м, размер фракции загрузочного материала 20–30 мм. Высоконагружаемые биофильтры имеют высоту загрузки 2–4 м, размер фракций загрузочного материала 40–60 мм. Башенные биофильтры из-за большой высоты загрузки (8–16 м) не нашли широкого применения [5].

Гидравлическая нагрузка на биофильтр $q_б$ м^3/м^2·сут, определяется по формуле [6]:

$$q_б = \frac{Q_p}{N_б F_б} \quad , \qquad (4.1)$$

где $Q_р$ – расход сточных вод, м^3/сут; $N_б$ – число биофильтров , шт;

$F_б$ – площадь биофильтра, м^2.

4.2. Цель работы

Целью данной работы является изучение процессов очистки сточных вод с помощью биофильтра.

4.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь: приборы для определения концентрации в стоках взвешенных веществ весовым методом [2]; приборы для определения $БПК_{полн}$ сточной воды [2]; стеклянные колбы для отбора проб объемом 250 мл; секундомер; мерный цилиндр объемом 0,5 л.

4.4. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 4.1.

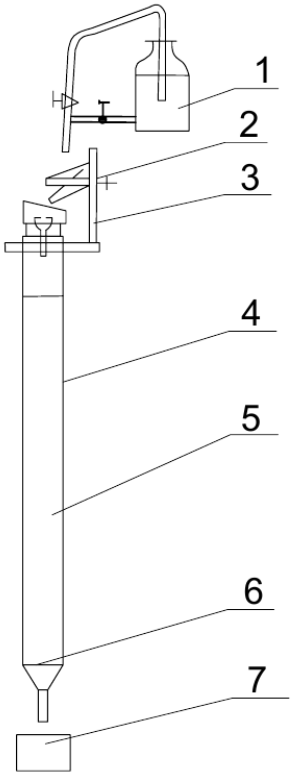

Рис.4.1. Схема лабораторной установки биофильтра

1 – бутыль с неочищенной сточной водой; 2 – опрокидывающийся желоб; 3 – кронштейн; 4 – корпус биофильтра; 5 – фильтрующая загрузка (керамзит); 6 – поддерживающая сетка; 7 – емкость сбора очищенной воды

Модель биофильтра с размерами 11,5 × 11,5 см в сечении и высотой 1,2 м выполнена из органического стекла. В модель биофильтра загружен керамзит с крупностью фракций 15–20 мм. Высота слоя загрузочного материала составляет 1 м, а объем загрузки – 13,23 дм^2. Снизу загрузочный материал поддерживается решеткой [5].

Неочищенная сточная вода из бутыли 1 подается в опрокидывающийся желоб 2. При наполнении сточной водой желоб опрокидывается и вода орошает загрузку биофильтра 4. Пройдя сквозь слой загрузочного материала 5, биологически очищенная сточная вода поступает в емкость сбора очищенной воды 7, в которой происходит осаждение отработанной биологической пленки [5].

Расход сточных вод определяется объемным способом [2]. Концентрация взвеси в сточной воде и БПК$_{полн}$ стоков определяются по методикам, изложенным в работе [2].

4.5. Методика проведения лабораторной работы

Отбираются две пробы неочищенных сточных вод обьемом по 200 мл каждая. Определяется концентрация взвешенных веществ в неочищенных стоках и БПК$_{полн}$ воды, поступающей на очистку [5].

Включается в работу биофильтр. Определяется расход сточных вод, обрабатываемых в биофильтре. Через 1 час после начала работы из емкости для очищенной воды отбираются две пробы объемом по 200 мл каждая, в которых определяются концентрация взвешенных веществ и БПК$_{полн}$ очищенных сточных вод. [5].

4.6. Обработка результатов опытов

По формуле (4.1) определяется нагрузка на биофильтр. Результаты опытов заносятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

№ опыта	Расход сточных вод, $Q_р$, м^3/сут	Нагрузка на биофильтр $q_б$, м^3/ м^2	Концентрация взвеси, мг/л		БПК$_{полн}$, мг/л	
			в исходной воде	в очищенной воде	в исходной воде	в очищенной воде
1	2	3	4	5	6	7

Лабораторная работа № 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АЭРОТЕНКА-СМЕСИТЕЛЯ

5.1. Общие положения

Аэротенки являются сооружениями биологической очистки сточных вод, в процессе которой органические загрязнения, а также неосаждающиеся тонкодиспергированные и коллоидные вещества сорбируются и окисляются микроорганизмами активного ила. Конструктивно аэротенки представляют собой железобетонные резервуары прямоугольной формы, разделенные продольными перегородками на 2–4 коридора, в которых иловая смесь (смесь сточной воды и активного ила) непрерывно аэрируется воздухом, подаваемым из воздуходувной станции. Из аэротенков иловая смесь поступает во вторичные отстойники (ило-отделители), где происходит отделение активного ила от воды. Очищенная вода либо поступает на сооружения глубокой очистки, либо обезза-раживается и сбрасывается в водоем [7].

Часть выделенного во вторичных отстойниках активного ила (циркулирующий активный ил) возвращается в аэротенки для поддержания в них требуемой дозы ила, а избыточный активный ил стабилизируется, обезвоживается и утилизируется вместе с осадком первичных отстойников. По гидравлической схеме функционирования аэротенки подразделяются на [7]:

– **аэротенки–вытеснители** с сосредоточенным впуском сточной воды, активного ила и снижающейся нагрузкой на активный ил вдоль аэротенка;

– **аэротенки с рассредоточенным впуском сточной воды и активного ила** с циклически изменяющейся вдоль аэротенка нагрузкой на активный ил;

– **аэротенки-смесители** с одинаковой нагрузкой на ил по всему объему аэротенка.

Качество активного ила зависит от эффективности осветления сточных вод в первичных отстойниках, характера органических загрязнений степени их минерализации, продолжительности аэрации, количества подаваемого воздуха. При прочих равных условиях качество активного ила характеризуется нагрузкой на ил по $БПК_5$ (или по $БПК_{полн}$) [7].

Нагрузка на ил q,мг/г·сут, определяется по формуле [6]:

$$q = \frac{24\left(L_{исх} - L_{оч}\right)}{a \cdot t_{аэр}\left(1 - S\right)}, \qquad (5.1)$$

где $L_{исх}$ – $БПК_5$ воды, поступающей на очистку мг/л; $L_{оч}$ – $БПК_5$

очищенной воды; а – доза ила, мг/л; $t_{аэр}$ – продолжительность аэрации, ч; S – зольность ила.

Аэротенки-вытеснители применяются при $БПК_{полн}$ сточной воды до 300 мг/л [6]. Возраст ила t, сут, определяется по формуле [6]:

$$t = \frac{t_{аэр} \cdot a \cdot 1000}{B_{вз} \cdot 24} \quad , \qquad (5.2)$$

где $B_{вз}$ – концентрация взвешенных веществ в стоках, поступающих на очистку, мг/л.

Продолжительность аэрации $t_{аэр}$, ч, определяется по формуле [6]:

$$t_{аэр} = \frac{W_{аэр}}{Q_p} \qquad (5.3)$$

где $W_{аэр}$ – объем аэротенка, $м^3$; $Q_р$ – расход сточных вод, поступающих в аэротенк, $м^3$/ч.

Удельная скорость окисления γ, мг/г·ч, составляет [6]:

$$\gamma = \gamma_{мах} \cdot \frac{L_{исх} \cdot C}{L_{исх}{}^{c} + K_L^c + K_o L_{исх}} \cdot \left(\frac{1}{1 + \varphi a} \right) \quad , \qquad (5.4)$$

где $\gamma_{мах}$=85 мг/г·ч – максимальная скорость окисления хозяйственно-бытовых стоков [6]; С=2 мг/л – концентрация кислорода, растворенного в воде аэротенка [6]; $К_L$=33 мг/л – константа, характеризующая свойства органических загрязнений [6]; $К_0$=0,625 мг/л – константа характеризующая влияния кислорода [6]; φ = 0,07 л/г – коэффициент ингибирования [6].

5.2. Цель работы

Целью данной работы является изучение процессов биологической очистки сточных вод с помощью аэротенка-смесителя.

5.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь: секундомер; мерный цилиндр объемом 0,5; стеклянные колбы для отбора проб о бъемом 250 мл; приборы для определения $БПК_{полн}$ сточной воды [2]; приборы для определения концентрации в стоках взвешенных веществ весовым методом [2].

5.4. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 5.1.

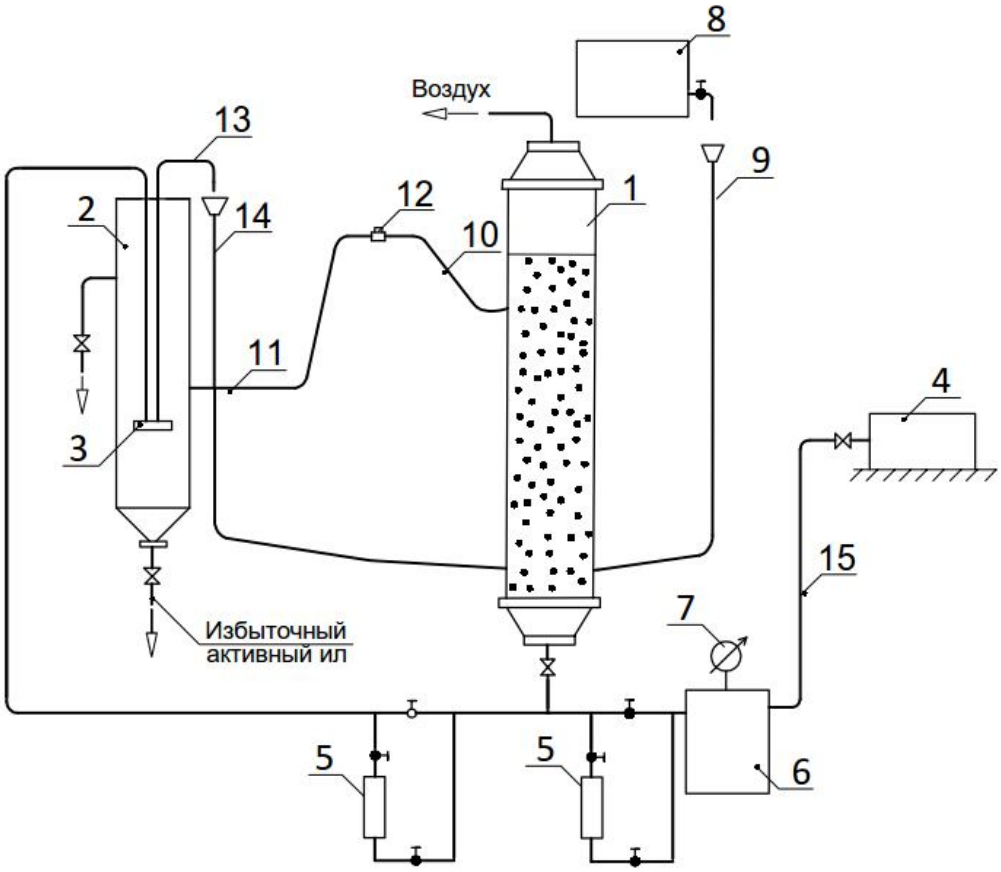

Рис. 5.1. Схема лабораторной модели аэротенка-смесителя

Лабораторная установка состоит из модели аэротенка-смесителя 1, модели вторичного отстойника 2, эрлифта 3, компрессора 4, ротаметра 5, ресивера 6, манометра 7, соединительных шлангов и запорной арматуры.

Модель аэротенка-смесителя выполнена из органического стекла диаметром 10 см и высотой 220 см. В нижней части аэротенка-смесителя имеется фильтр , выполненный из нескольких слоев капроновой ткани.

Вторичный отстойник диаметром 5 см и высотой 125 см без конической части также выполнен из органического стекла. Внизу отстойник заканчивается конусом со штуцером, через который периодически удаляется избыточный активный ил. Штуцер в верхней части отстойника служит для отвода осветленной воды.

Установка работает следующим образом. Сточная вода из бутыли 8 по шлангу 9 поступает в нижнюю часть аэротенка-смесителя 1. Очищенная вода отводится в отстойник 2 по шлангам 10 и 11 через тройник 12 со шлангом, который служит для поддержания в аэротенке заданного уровня

воды. Активный ил из отстойника 2 с помощью эрлифта 3 и шлангов 13 и 14 непрерывно перекачивается в нижнюю часть аэротенка 1. Подача воздуха в установку осуществляется компрессором 4 по шлангу 15 через ресивер 6, на котором установлен манометр 7. Расход воздуха определяется при помощи ротаметров 5.

5.5. Методика проведения лабораторной работы

Данная лабораторная работа проводится следующим образом [7]:

а) объемным методом определяется производительность аэротенка $Q_р$, $м^3/ч$, результаты измерений заносятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Расход сточных вод, л/с	№ опыта			$Q_р$, $м^3/ч$
	1	2	3	

б) в тщательно вымытые колбы отбираются две пробы воды, поступающей на очистку в аэротенк, и две пробы очищенной воды на выходе из этого аппарата, объем проб составляет 150–200 мл; в отобранных пробах определяется концентрация взвешенных веществ по методике, изложенной в работе [2], а также $БПК_{полн}$ по методике, изложенной в работе [2]; полученные данные заносятся в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Показатели	Вода, поступающая на очистку	Очищенная вода
Взвешенные вещества, мг/л		
$БПК_{полн}$, мг/л		

в) из модели аэротенка отбирается проба объемом 100 мл; она перемешивается, а затем отстаивается в течение 30 мин в мерном цилиндре, отстоявшийся слой жидкости удаляется из мерного цилиндра с помощью сифона; по остатку пробы определяется доза ила и его зольность по методикам, изложенным в работе [2]; результаты исследований заносятся в табл.5.3.

Таблица 5.3

Показатели	Единицы измерения	Полученное значение
Доза ила	г/л	
Зольность	%	

5.6. Обработка опытных данных

а) по формуле (5.3) определяется время аэрации;
б) по формуле (5.1) определяется нагрузка на ил;
в) по формуле (5.2) определяется возраст ила;
г) по формуле (5.4) определяется удельная скорость окисления;
д) эффект очистки в аэротенке $Э_{аэр}$, %, составляет [6]:

$$Э_{аэр}=(L_{исх}-L_{оч}/L_{исх})\cdot 100 , \qquad (5.5)$$

е) Результаты расчетов заносятся в табл.5.4

Таблица 5.4

Время аэрации, $t_{аэр}$,ч	Доза ила, а, г/л	Зольность ила, S, %	Нагрузка на ил, q, мг/г·сут	Возраст ила, сут	Удельная скорость окисления, ρ,мг/г·ч	Эффект очистки сточных вод, $Э_{аэр}$,%
1	2	3	4	5	6	7

Определение концентрации взвешенных веществ в сточных водах и их $БПК_{полн}$, а также дозы ила и его зольности требуют времени большего, чем отводится на проведение одной лабораторной работы, поэтому при проведении данной работы отбираются пробы на анализ, а сами анализы делаются отдельно в лабораториях кафедры водоснабжения и водоотведения КГАСУ.

5.7. Меры безопасности при проведении лабораторной работы

До начала работы необходимо [7]:

– визуально проверить техническое состояние лабораторной установки: отсутствие трещин и течи в модели аэротенка и отстойника,

герметичность присоединения шлангов, исправность тройника 12, ротаметров 5.

Во время работы необходимо [7]:

– контролировать давление воздуха в системе по показателям манометра 7, установленного на ресивере 6, так как в модель аэротенка-смесителя и эрлифт вторичного отстойника подается под давлением сжатый воздух;

– следить за тем, чтобы воздух беспрепятственно выходил из трубки в верхней части модели аэротенка-смесителя 1;

– регулировать интенсивность подачи воздуха в аэротенк, чтобы не происходил выброс жидкости из модели аэротенка-смесителя;

– следить за поступлением в модель аэротенка-смесителя циркуляционного активного ила из патрубка 13 в шланг 14;

– при выявлении утечки жидкости из моделей аэротенка и отстойника из соединительных шлангов немедленно выключить лабораторную установку и сообщить о неисправности преподавателю.

По окончании работы необходимо [7]:

– прекратить подачу сточной жидкости из бутыли 8;

– выключить компрессор 4;

– сбросить давление в ресивере 6, выпустив из него избыток воздуха.

Лабораторная работа № 6

Очистка сточных вод методом коагуляции

6.1. Общие положения

Коагуляция – это слияние частиц взвеси в процессе их теплового движения или перемешивания воды. В результате коагуляции образуются агрегаты (более крупные частицы), состоящие из скопления мелких. Коагуляция сопровождается прогрессирующим укрупнением частиц и уменьшением их общего числа в объеме дисперсионной среды [9].

Процесс коагуляции начинается при добавлении к сточным водам раствора коагулянта. Коагулянты снижают электрический заряд, образующийся вокруг частиц дисперсной фазы за счет гидратации молекул воды и препятствующий их сближению. Становится возможным слипание частиц дисперсной фазы, т.е. происходит коагуляция коллоидной системы [9].

Процесс коагуляции повышает эффективность последующего гравитационного осветления стоков. В качестве коагулянта обычно используется 10% раствор сернокислого алюминия. Доза реагента зависит от

качественных показателей сточных вод и обычно определяется экспериментально [6].

Снижение дозы реагента способствует сокращению эксплуатационных расходов на очистку сточных вод. В то же время принятая доза коагулянта должна обеспечивать необходимую степень очистки стоков.

6.2. Цель работы

Целью данной лабораторной работы является изучение эффективности очистки сточных вод методом коагуляции.

6.3. Лабораторное оборудование

Для проведения этой работы необходимо иметь:
емкость для исходной воды объемом 10 л; шесть стеклянных цилиндров (рис. 6.1); мерный цилиндр объемом 100 мл; секундомер; шесть колб объемом 50 мл; оборудование для определения концентрации взвеси в сточной воде весовым методом [2].

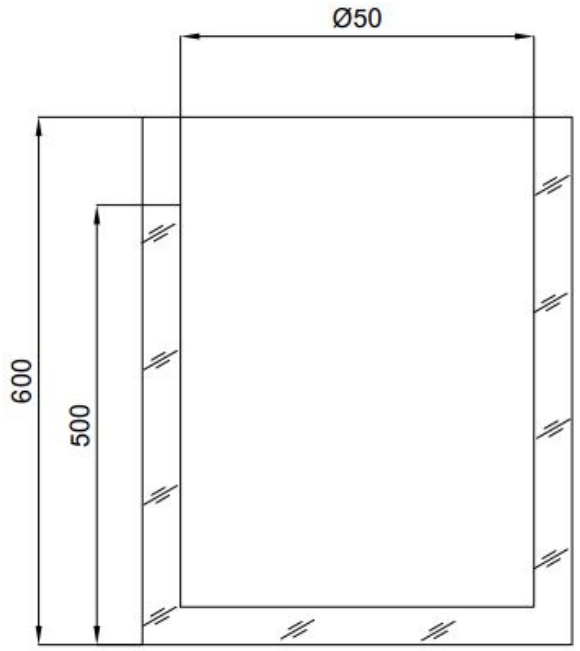

Рис. 6.1. Цилиндр для отстаивания

6.4. Порядок проведения лабораторной работы

В емкость для исходной воды наливается сточная вода, загрязненная взвешенными веществами. Заполняются шесть цилиндров до отметки А.

Из первого цилиндра с помощью сифона отбирается проба, в которой определяется концентрация взвеси в воде, поступающей на очистку ($C_{исх}$, мг/л). Через 5,10,15,20,25 мин из цилиндров с помощью сифона отбираются пробы, в которых определяется концентрация взвеси (C_t, мг/л). В емкость для исходной воды вновь наливается сточная вода. В нее добавляется 10%-й раствор сернокислого алюминия. Доза коагулянта составляет 50 мг/л. Далее повторяются описанные выше действия. Концентрация взвеси в воде определяется весовым методом [2].

6.5. Обработка результатов исследований

Определяется эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ методом отстаивания $Э_{отс}$, %, по формуле [6]:

$$Э_{отс} = \frac{C_{исх} - C_t}{C_{исх}} \cdot 100 \quad . \qquad (6.1)$$

Результаты расчетов заносятся в табл. 6.1.

Таблица 6.1

№ опыта	Продолжительность отстаивания , с	Концентрация взвешенных веществ в пробе, мг/л	Доза коагулянта, мг/л	Эффект отстаивания, %, $Э_{отс}$,
	0			
	300			
	600			
	900			
	1200			
	1500			

Строится график зависимости $Э_{отс}$= f(t).

Лабораторная работа № 7

Глубокая очистка сточных вод в скорых фильтрах

7.1. Общие положения

На выходе из вторичных отстойников концентрация взвешенных веществ в очищенных стоках, а также их $БПК_{полн}$ составляет 15–20 мг/л [6]. Для глубокой очистки сточных вод населенных пунктов, прошедших полную биологическую очистку, применяются скорые фильтры с зернистой загрузкой. Они бывают с нисходящим и восходящим потоком. Фильтры с нисходящим потоком воды имеют однослойную и многослойную загрузку. Если фильтры работают при атмосферном давлении (имеют свободную поверхность воды), то их называют безнапорными. Фильтры, работающие при избыточном давлении, функционируют в напорном режиме [6].

Скорость фильтрования для скорого фильтра $V_ф$, м/ч , составляет [6]:

$$V_ф = \frac{Q_p}{F_ф}, \qquad (7.1)$$

где $Q_р$ – расход сточных вод, $м^3$/ч; $F_ф$ – площадь сечения фильтра, $м^2$.

Для однослойных скорых фильтров с нисходящим потоком, в качестве загрузки которых используется кварцевый песок, скорость фильтрования составляет 6–7 м/ч [6]. При этом эффект очистки сточных вод от взвеси в однослойных скорых фильтрах с нисходящим потоком достигает 70%, а $БПК_{полн}$ очищенной в этих аппаратах воды снижается на 50–60%. Для регенерации фильтрующей загрузки однослойных скорых фильтров рекомендуется водовоздушная промывка [6].

7.2. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение процессов глубокой очистки сточных вод в скорых напорных фильтрах.

7.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной работы необходимо иметь:
десять колб объемом 50 мл; секундомер; мерный цилиндр объемом 100 мл; оборудование для определения концентрации взвеси в сточной воде весовым методом [2].

7.4. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 7.1. В состав установки входят: бак для исходной воды 1, бак для суспензии 2, скорый напорный фильтр 3, насосы Н-1 и Н-2, компрессор К-1, трубопроводы и запорно-регулирующая арматура. Фильтр 3 имеет диаметр 300 мм и общую высоту 3500 мм. Внутри фильтра 3 располагаются водораспределительная воронка 4, воздухораспределительное устройство 5, дырчатое днище 6, на котором лежит слой фильтрующей загрузки 7, а также водосборное устройство 8, представляющее собой щелевой колпачок. В качестве фильтрующего материала используется кварцевый песок. В верхней крышке фильтра имеется патрубок с вентилем В-1 для выпуска воздуха при заполнении фильтра 3 водой.

Емкость 1 заполняется водопроводной водой по трубопроводу 9. Для этого необходимо открыть задвижку ЗД-1. В режиме фильтрования вода из бака 1 насосом Н-1 по трубопроводу 10 подается в фильтр 3. Очищенная вода (фильтрат) под остаточным давлением отводится по трубопроводу 11 или по трубопроводу 12.

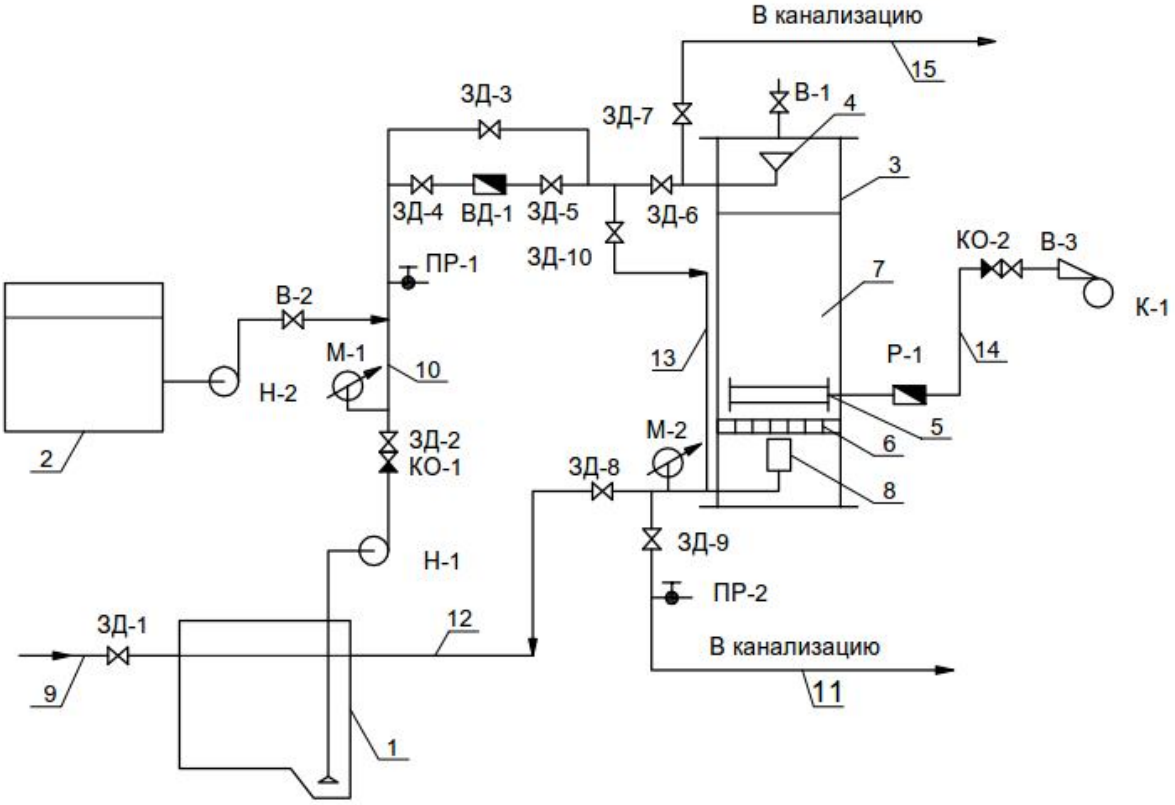

Рис. 7.1. Схема лабораторной установки:
1 – емкость для исходной воды; 2 – емкость для суспензии; 3 – фильтр; 4 – расширительная воронка;5 – воздухораспределительное устройство; 6 – днище;7 – фильтрующий слой; 8 – щелевой колпачок; 9–16 – трубопроводы

В режиме промывки вода подается из емкости 1 насосом Н-1 по трубопроводу 14. Загрязненная промывная вода по трубопроводу 15 отводится в канализацию. Давление на входе в фильтр измеряется манометром М-1, а на выходе из этого аппарата – манометром М-2.

Расход воды, подаваемой в фильтр 3, измеряется расходомером ВД-1, а расход воздуха – ротаметром Р-1.

7.5. Порядок проведения лабораторной работы

Перед началом работы все вентили и задвижки закрыты. В емкость 1 по трубопроводу 9 наливается вода, для чего необходимо открыть задвижку ЗД-1.

Открываются задвижки ЗД-2, ЗД-4, ЗД-5, ЗД-6, и ЗД-8. По показанию манометра М-1 устанавливается давление на входе в фильтр, равное 0,2 МПа. По показаниям расходомера ВД-1 устанавливается скорость фильтрования, равная 5 м/ч. После того, как вода начинает поступать в бак 1, включается секундомер. Через 30 мин открывается вентиль В-2 и задвижка ЗД-9, а задвижка ЗД-8 закрывается. Включается насос-дозатор Н-2. Суспензия, приготовленная в баке 2, начинает дозироваться в воду, которая поступает в фильтр 3. Отбирается проба исходной воды из пробоотборника ПР-1. Через время, равное t минут, из пробоотборника ПР-2 отбирается проба очищенной воды. Время t, мин, составляет:

$$t = \frac{H_{общ}}{V_{ф}} \quad . \qquad (7.2)$$

Выключаются насосы Н-1 и Н-2. Закрываются все задвижки и вентили. В отборных пробах определяется концентрация взвешенных веществ весовым методом [2].

Описанные выше действия повторяются для скоростей фильтрования, равных 6, 7 ,8 и 9 м/ч.

После завершения опытов осуществляется водовоздушная промывка фильтра 3. Для этого необходимо:

а) наполнить бак 1 водопроводной водой и закрыть вентиль В-2, а также задвижку ЗД-6;
б) после того, как манометр М-2 покажет нулевое значение, открыть задвижку ЗД-7 и вентиль В-3;
в) начать продувку фильтра 3, для чего необходимо включить компрессор К-1; продувка с интенсивностью 20 л/с·м^2 продолжается в течение 2 минут; интенсивность продувки регулируется вентилем В-3 по показаниям ротаметра Р-1;

г) начать водовоздушную промывку фильтра 3, для чего открыть задвижку ЗД-10, включить насос Н-1; водовоздушная промывка проводится в течение 10 мин; интенсивность подачи воды составляет 5 л/с·м^2, а интенсивность подачи воздуха – 20 л/с·м^2; интенсивность подачи воды регулируется задвижкой ЗД-2 по показаниям расходомера ВД-1;

д) начать промывку фильтра 3, для чего выключить компрессор К-1 и закрыть вентиль В-3; промывка осуществляется в течение 7 минут с интенсивностью 7 л/с·м^2;

е) выключить насос Н-1 и закрыть все задвижки и вентили.

7.6. Обработка результатов исследований

Результаты исследований заносятся в табл. 7.1

Таблица 7.1

№ опыта	Скорость фильтро-вания $V_ф$, м/ч	Время t, мин	Концентрация взвеси в исходной воде, $C_н$,мг/л	Концентрация взвеси в очищенной воде, $C_к$ мг/л	Эффект очистки, $Э_ф$, %
1	2	3	4	5	6

Эффект очистки от взвешенных веществ в скорых напорных фильтрах $Э_ф$,%, определяется по формуле [6]:

$$Э_ф = \frac{C_н - C_к}{C_н} \cdot 100 \quad . \qquad (7.3)$$

Строится график зависимости $Э_ф = f(V_ф)$.

Лабораторная работа № 8

Обеззараживание сточных вод

8.1. Общие положения

При механической очистке количество болезнетворных бактерий в сточных водах снижается на 30-40%, а при полной биологической – на 90–95%. Для полного освобождения сточных вод от патогенных микро-организмов необходимо применение специальных методов обеззараживания [10]. Для дезинфекции сточных вод применяются хлорирование, озонирование и ультрафиолетовое облучение [10].

Хлорирование сточной воды осуществляется жидким хлором, поступающим на очистные сооружения в баллонах или специальных контейнерах, а также гипохлоритом натрия. При малых расходах сточных вод применяются хлорная известь или электролизные установки для получения дезинфицирующих растворов [10].

Выбор метода обеззараживания сточной воды принимается исходя из расхода, качества обрабатываемой воды, эффективности ее очистки, а также условий поставки, транспортировки и хранения реагентов [10].

В прошлом столетии для дезинфекции сточных вод широко применялось хлорирование с помощью жидкого хлора. В последнее время для хлорирования сточных вод стал применяться гипохлорит натрия (NaClO) заводского изготовления, который поставляется в виде водного раствора с концентрацией активного хлора 170 г/л (марка «Б») и 120 г/л (марка «В»).

На некоторых очистных сооружениях гипохлорит натрия получают на специальных установках при помощи электролиза раствора поваренной соли [10].

Доза активного хлора для обеззараживания сточных вод ориентировочно принимается [10]:

– для стоков, прошедших механическую очистку 10 г/м^3;

– для стоков, прошедших неполную биологическую очистку – 5 г/м^3;

– для стоков, прошедших механическую и полную биологическую очистку – 3 г/м^3.

Время контакта стоков с хлором составляет 30 мин [6].

Численно бактериальная загрязненность воды оценивается коли-индексом. Коли-индекс – это количество кишечных палочек Coli в одном литре воды. Коли-титр – это величина, обратная коли-индексу (объем воды, в котором содержится одна кишечная палочка Coli) [11].

Для определения коли-индекса проба воды фильтруется через мембранный фильтр № 2 или № 3, который задерживает бактерии. Фильтры переносятся на чашки со средой Эндо, инкубируемые при +37˚С. Выросшие на поверхности фильтра колонии бактерий изучаются под микроскопом. При этом подсчитывают выросшие на фильтре колонии кишечной палочки, имеющей красный цвет с металлическим блеском, а затем производится пересчет количества палочек Coli на 1 л. воды [11].

Считается , что сточная вода может быть сброшена в поверхностный источник без вреда для него, если коли-индекс этой воды достигает 1000 шт/л при остаточном содержании хлора 1,5 мг/л.

8.2. Цель работы

Целью данной лабораторной работы является изучение процессов обеззараживания сточной воды гипохлоритом натрия.

8.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной работы необходимо иметь:
емкость для сточной воды объемом 5 л; пять колб объемом 50 мл; мерный цилиндр объемом 100 мл; секундомер; емкость для приготовления раствора гипохлорита натрия; оборудование для определения коли-индекса сточной воды [11].

8.4. Порядок проведения лабораторной работы

Приготавливается раствор гипохлорита натрия с концентрацией 50 мг/л по активному хлору. В емкость объемом 5 л наливается 4 л сточной воды, прошедшей механическую очистку. Затем в эту емкость добавляется 800 мл раствора NaClO, что соответствует дозе активного хлора, равной 10 мг/л. Смесь сточной хлорной воды тщательно перемешивается. Отбирается проба сточной воды. Запускается секундомер и через 5, 10, 20 и 30 мин в стерильные колбы отбираются пробы сточной воды. По методике, изложенной в работе [11], в пробах определяется коли-индекс.

8.5. Обработка результатов иследований

Результаты исследования заносятся в табл. 8.1

Таблица 8.1

№ опыта	Время контакта сточной воды с хлором, $t_к$,мин,	Коли-индекс сточной воды $К_и$,шт/л
1	2	3

По данным табл. 8.1 строится график $К_и=f(t_к)$

Лабораторная работа № 9

Очистка сточных вод методом отстаивания

9.1. Общие положения

Очистка производственных сточных вод осуществляется механическими методами. Одним их них является отстаивание, когда частицы загрязнений, которые тяжелее воды, оседают на дно отстойника, а частицы загрязнений легче воды – всплывают [6]. Эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ $Э_{в.в.}$, %, определяется по формуле [6]:

$$Э_{в.в.} = \frac{C_н - C_к}{C_н} \cdot 100, \qquad (9.1)$$

где $C_н$ – концентрация взвешенных веществ в стоках, поступающих на очистку , мг/л; $C_к$ – концентрация взвешенных веществ в очищенной воде мг/л.

Объем отстойника для очистки производственных стоков $W_{отс}$,м^3, определяется по формуле [12]:

$$W_{отс} = Q_р \cdot T \ , \qquad (9.2)$$

где $Q_р$ – расход сточных вод, м^3/ч; Т – время отстаивания, необходимое для достижения эффекта очистки от взвеси $Э_о$, ч.

Величина Т,ч, определяется по формуле [12]:

$$T = t^2 \cdot \left(\frac{H}{h^2}\right)^n \ , \qquad (9.3)$$

где Н – рабочая глубина отстойника, м; t_2 – время отстаивания, необходимое для достижения в цилиндре с глубиной воды h_2, м, эффекта очистки от взвеси $Э_о$, ч; n – показатель степени.

Величина n определяется по формуле [12]:

$$n = \frac{\lg t_2 - \lg t_1}{\lg h_2 - \lg h_1}, \qquad (9.4)$$

где t_2 – время отстаивания, необходимое для достижения эффекта очистки от взвеси $Э_о$, при глубине воды в цилиндре h_2, ч; t_1 – время отстаивания, необходимое для достижения эффекта очистки от взвеси $Э_о$, при глубине воды в цилиндре h_1, ч.

На рис. 9.1 представлена методика определения значений t_1, и t_2.

9.2. Цель работы

Целью лабораторной работы является определение времени отстаивания, необходимого для снижения концентрации взвесей с 200 мг/л до 50 мг/л в горизонтальном отстойнике с рабочей глубиной H=2 м.

9.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной работы необходимо иметь:
емкость для загрязненной сточной воды объемом 10 л; восемь стеклянных цилиндров (рис. 9.2); мерный цилиндр объемом 100 мл; девять колб объемом 50 мл; секундомер; оборудование для определения концентрации взвеси в сточной воде весовым методом [2].

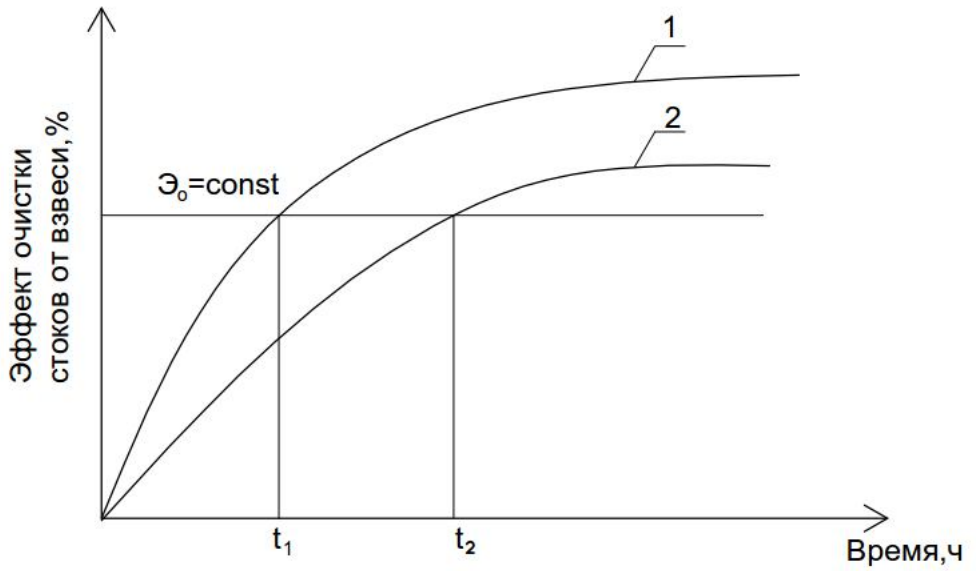

Рис. 9.1. Определение времени отстаивания в цилиндрах:
1 – зависимость $Э_{в.в}$=f (t) при глубине воды в цилиндре h_1;
2 – зависимость =f (t) при глубине воды в цилиндре h_2

9.4. Порядок проведения лабораторной работы

В емкость для исходной воды наливается сточная вода, загрязненная взвешенными веществами. Отбирается проба исходной воды. Заполняются стеклянные цилиндры. Четыре цилиндра заполняются до отметки А, а четыре – до отметки В. Включается секундомер. Через 10, 20, 30 и 60 мин

с помощью сифона отбирается по две пробы воды из цилиндров. Во всех пробах определяется концентрация взвеси весовым методом [2].

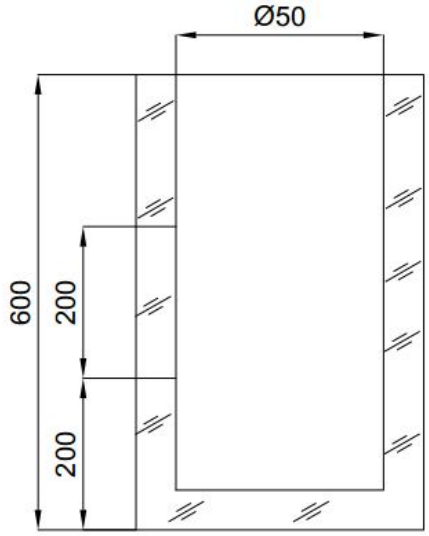

Рис. 9.2. Цилиндр для отстаивания

9.5. Обработка результатов исследований

Результаты опытов заносятся в табл. 9.1

Таблица 9.1

Продолжительность отстаивания, ч, t	Глубина отстаивания h_1=200 мм		Глубина отстаивания h_2=400 мм	
	Концентрация взвеси, мг/л	Эффект очистки, %, $Э_{в.в}$	Концентрация взвеси, мг/л	эффект очистки, %, $Э_{в.в}$
1	2	3	4	5

Эффект очистки от взвеси определяется по формуле (9.1). Для каждой глубины отстаивания строятся графики зависимости $Э_{в.в}=f(t)$.

Величина $Э_о$,% , определяется по формуле [12]:

$$Э_o = \frac{C_1 - 50}{C_1} \cdot 100 \text{ ,} \qquad (9.5)$$

где C_1 – концентрация взвешенных веществ в исходной воде, мг/л.

Графическим способом определяются величины t_2 и t_1. По формуле (9.4) определяется величина n. По формуле (9.3) определяется величина T.

Лабораторная работа № 10

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МЕТАНТЕНКА

10.1. Общие положения

Метантенк представляет собой резервуар для анаэробного сбраживания концентрированных сточных вод, сырого осадка из первичных отстойников, избыточного уплотненного активного ила из вторичных отстойников; биопленки из биофильтров. Допускается подача в метантенки и других сбраживаемых органических веществ после их дробления, т.е. отбросов с решеток, домового мусора, промышленных отходов органического происхождения и т.д. [13].

По конструкции метантенки бывают с неподвижным незатопленным перекрытием, с плавающим перекрытием, с неподвижным затопленным перекрытием. В настоящее время наибольшее распространение получили метантенки с неподвижным незатопленным перекрытием [13].

В зависимости от температуры сбраживания различают мезофильный (при температуре t= +33^{0}C) и термофильный (при температуре t= +53^{0}C) режимы сбраживания. Для нагрева осадка используется острый пар [13].

Термофильный режим обеспечивает дегельминтизацию осадка и позволяет в 2 раза увеличить дозу загрузки метантенка по сравнению с мезофильным режимом, что позволяет сократить объемы метантенков. В то же время осадок, сброженный при термофильном режиме, гораздо труднее обезводить [13].

Для поддержания режима анаэробного сбраживания необходима равномерная загрузка осадка в метантенки в течение суток, а также нагревание свежего поступающего осадка острым паром.

При анаэробном сбраживании в процессе распада органических веществ одним из основных продуктов распада является метан, поэтому такое брожение называется метановым. При биохимическом процессе метанового брожения сообщества микроорганизмов в ходе своей жизнедеятельности окисляют органические вещества осадков сточных вод. Процесс метанового брожения состоит из двух фаз: первой (кислой) и второй (щелочной).

В первой фазе (кислой или водородной) из сложных органических веществ осадка и ила под действием внеклеточных бактериальных ферментов сначала гидрализуются до более простых: белки – до пептидов и аминокислот, жиры – до глицерина и жирных кислот, углеводы – до простых сахаров. Далее образуются органические кислоты (масляная, пропионовая, уксусная), спирты (этиловый, бутиловый и др.), газы (углекислый газ, водород, сероводород, аммиак) и пр. При кислом брожении pH уменьшается до 4,5–5,0. Процесс сопровождается

появлением неприятного гнилостного запаха. Во второй фазе (щелочной или метановой) образуется метан и диоксид углерода в результате жизнедеятельности метанообразующих бактерий. При сбраживании выделяется 5–15 $м^3$ газа на 1 $м^3$ сбраживаемого осадка. Процесс сбраживания угнетается в том случае, если в составе осадка имеются соли тяжелых металлов, поверхностно-активные вещества, фенолы и другие токсичные вещества [13].

10.2. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является изучение работы метантенка.

10.3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь: емкость для уплотненного избыточного активного ила; модель метантенка; сушильный шкаф; технические весы с разновесами; фарфоровая чашка; муфельная печь; фарфоровый тигель; устройство для определения объема выделяющегося при сбраживании газа; секундомер.

10.4. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки с моделью метантенка приведена на рис. 10.1.

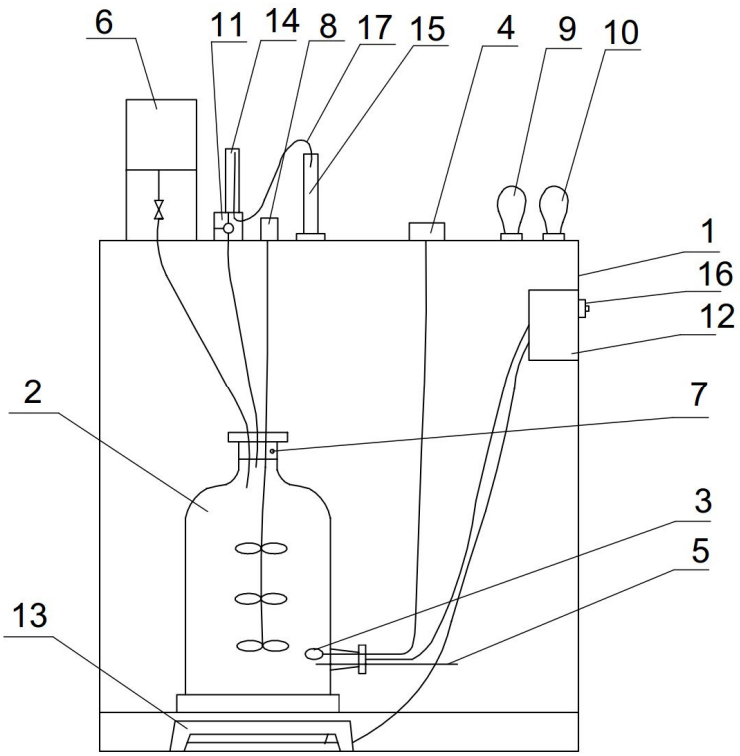

Рис.10.1. Схема лабораторной установки:

1 – термостат; 2 – камера брожения; 3 – термопара; 4 – реле отключения; 5 – отвод осадка; 6 – емкость для подачи осадка; 7 – резиновая пробка с гнездом для мешалки и трубками для подачи осадка и выпуска газа; 8 – электродвигатель; 9 – лампа, сигнализирующая об охлаждении осадка; 10 – лампа, сигнализирующая о необходимости подогрева осадка; 11 – трехходовой кран; 12 – блок питания; 13 – электронагреватель; 14 – измерительная колба для принятия газа; 15 – колба для принятия воды; 16 – тумблер для включения мешалки; 17 – резиновая трубка для газа

Лабораторная установка состоит из термостата 1 и установленной в нем камеры брожения 2. Термостат представляет собой шкаф, изнутри обшитый термоизоляционным материалом. Термостат оборудован электронагревателем 13, термопарой 3, реле отключения 4, лампой, сигнализирующей о необходимости подогрева осадка 10 и лампой, сигнализирующей об охлаждении осадка, блоком питания 12, тумблером включения и отключения мешалки 16. На крышке термостата размещено оборудование, предназначенное для обслуживания установки, т.е. емкость для подачи осадка 6, электродвигатель мешалки 8, трехходовой кран 11 с колбой 14 для принятия газа и колбой 15 для принятия вытесненной газом воды. Горловина камеры брожения 2 герметично закрыта резиновой

пробкой 7, в которой имеются три отверстия для загрузки осадка, выхода газа и для вала пропеллерной мешалки.

Объем выходящего газа из камеры брожения фиксируется с помощью устройства входа и фиксирования качества выделенного газа (рис. 10. 2).

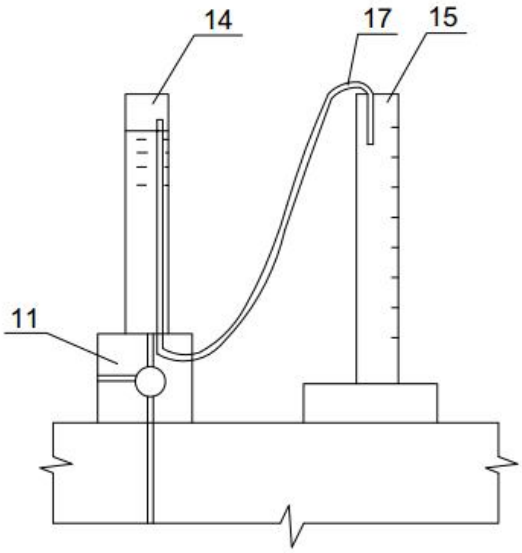

Рис. 10.2. Устройство входа и фиксирования количества выделенного газа:
11 – трехходовой кран; 14 – колба для принятия газа;
15 – колба для принятия воды; 17 – резиновая трубка для газа

Данное устройство работает следующим образом: через трехходовой кран 11 газ из камеры брожения 2 поступает в измерительную колбу 14, из которой под давлением газа вода по резиновому шлангу 17 поступает в колбу 15. Секундомером засекается время с начала перетекания жидкости из колбы 14 до ее полного опорожнения, и определяется расход выделяемого газа.

Вначале определяется влажность осадка, направляемого на стабилизацию в модель метантенка. Методика определения влажности осадка принята в соответствии с рекомендациями [13]. Для проведения анализа в предварительно прокаленную в муфельной печи и взвешенную фарфоровую чашку наливается исследуемый осадок. Чашка с осадком взвешивается. Затем она помещается в сушильный шкаф, где осадок при температуре +105˚С сушится до постоянного веса m_2, г. Влажность исследуемого осадка Вл,%, определяется по формуле [13]:

$$Вл = 100\left(\frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3}\right), \qquad (10.1)$$

где m_1 – масса чашки с влажным осадком, г; m_3 – масса пустой чашки, г.

Затем определяется зольность осадка, направляемого на стабилизацию в модель метантенка. Методика определения зольности осадка принята в соответствии с рекомендациями [13]. Для определения зольности осадка используется навеска сухого осадка, которая осталась после определения влажности.

В предварительно прокаленный в муфельной печи и взвешенный фарфоровый тигель отвешивают 2 г сухого осадка. Затем тигель помещают в муфельную печь и в течение 20 мин прокаливают при температуре + 800˚С. Далее тигель извлекается из печи, охлаждается и взвешивается. Зольность исследуемого осадка *З*, %, составляет [13] :

$$З = 50 \cdot \left(m_4 - m_5 \right), \qquad (10.2)$$

где m_4 – масса тигля после прокаливания, г; m_5 – масса пустого тигля, г.

В модели метантенка осуществляется мезофильное сбраживание. Объем модели метантенка (камеры сбраживания) составляет Wк=10 л. Объем осадка, обрабатываемого в течение суток в модели метантенка, составляет $W_{ос}$=1 л/сут.

В камеру брожения в течении суток через каждые 5 часов загружается и выгружается по 0,2 л осадка [13]. После загрузки осадка содержимое камеры брожения перемешивается в течение 5 мин. Затем из камеры сбраживания производится выгрузка осадка. После каждой выгрузки измеряется объем выделившегося газа. Через сутки после первой загрузки осадка камера сбраживания опорожняется. Отбираются пробы сброженного осадка для определения его влажности и зольности.

10.5. Обработка результатов исследований

Доза загрузки модели метантенка $Д_м$, %, определяется по формуле [6]:

$$Д_м = \frac{W_{ос}}{W_м} \cdot 100 \cdot \qquad (10.3)$$

Теоретический выход газа $Г_т$, л/сут, определяется по формуле [6]:

$$Г_т = y \cdot W_{общ}, \qquad (10.4)$$

где y – выход газа, $м^3$/кг;

Величина у, $м^3$/кг, определяется по формуле [6]:

$$y = \frac{\left(a_и - n \cdot Д_м \right)}{100}, \qquad (10.5)$$

где а=44 % – предел сбраживания ила [6]; n=0,56 – коэффициент, зависящий от влажности ила и температурного режима [6].

Результаты исследований заносятся в табл. 10.1

Таблица 10.1

Влажность осадка, $В_л$, %		Зольность осадка, З, %		Доза загрузки, %, $Д_м$	Выход газа, $м^3$/кг, у	Объем газа, л/сут	
						теоретический, $Г_т$	действительный
1	2	3	4	5	6	7	8

Лабораторная работа № 11

Обезвоживание осадков сточных вод с помощью центрифуги

11.1. Общие положения

При механическом обезвоживании осадков сточных вод наибольшее применение имеют центрифуги различных типов. Достоинствами метода центрифугирования являются простота, экономичность и управляемость процессом. После обработки на центрифугах получают осадки низкой влажности. Центрифугирование – это разделение фаз в поле центробежных сил. Центрифуги по методу центрифугирования подразделяются на фильтрующие и осадительные. В отечественной практике для обработки осадков сточных вод применяют серийно выпускаемые непрерывно действующие осадительные горизонтальные центрифуги типа ОГШ (рис. 11.1).

Основными элементами центрифуги являются конический ротор 6 со сплошными стенками и полый шнек 7. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежной силы нерастворимые частицы осадка отбрасываются к стенкам ротора, и вследствие разности частоты вращения ротора и шнека перемещаются к отверстию в роторе 8, через которое обезвоженный осадок (кек) попадает в бункер кека.

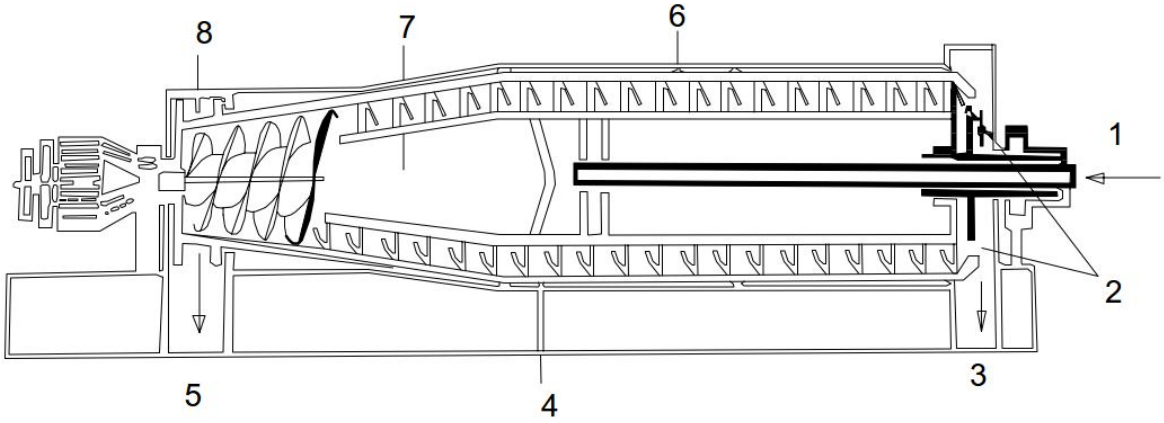

Рис. 11.1. Осадительная центрифуга типа ОГШ:
1 – трубопровод для подачи осадка; 2 – отверстие для выгрузки фугата; 3 – выпуск фугата; 4 – отверстие для поступления осадка в ротор; 5 – выгрузка кека; 6 – ротор; 7 – полый шнек; 8 – отверстие для выгрузки кека

Отделенная от осадка вода (фугат) отводится через отверстия 2, расположенные с противоположной стороны ротора. Критерием влагоотдачи при центрифугировании является индекс центрифугирования $I_ц$, м^3/кг, определяемый по формуле [14]:

$$I_ц = 1000 \cdot W_k / (C - W_0), \qquad (11.1)$$

где W_k=(W_0–$W_ф$) – объем кека,м^3; W_0 – объем осадка, м^3; $W_ф$– объем фугата, м^3; С – концентрация твердой фазы осадка ,кг/м^3.

При значениях индекса центрифугирования больше 7, перед ним требуется кондиционирование осадка катионными полиэлектролитами, например, флокулянтами на основе полиакриламида. Центрифугирование осадков может производиться с применением минеральных коагулянтов и флокулянтов или без них. При использовании флокулянтов кек имеет меньшую влажность, центрифуга – большую пропускную способность, а фугат имеет меньшую загрязненность.

Основными показателями, характеризующими работу осадительных центрифуг, являются: производительность, эффективность задержания сухого вещества и влажность кека. Показатели работы центрифуги зависят от геометрических размеров ротора, частоты вращения, диаметра сливного цилиндра, положения питающей трубы, влажности обрабатываемого осадка, плотности и дисперсного состава его твердой фазы, форм связи влаги с твердыми частицами, вязкости жидкой фазы и т.п. [14].

Показатели работы центрифуг для различных осадков могут существенно различаться. Поэтому с целью повышения эффективности применения центрифуг для обезвоживания осадков необходимо получить

наиболее точные данные, учитывающие реальные свойства осадков на лабораторной стаканчиковой центрифуге.

Эффективность задержания сухого вещества осадка зависит, в основном, от площади приведенной поверхности осаждения центрифуги (индекса производительности) и продолжительности нахождения осадка в роторе. Индекс производительности центрифуги I_n, м^2, выражается зависимостью [14]:

$$I_n = F \cdot \Phi \qquad (11.2)$$

где F – площадь поверхности сливного цилиндра центрифуги, м^2;

Ф – фактор разделения, показывающий, во сколько раз ускорение центробежного поля, развиваемое в центрифуге, больше ускорения гра витационного поля (силы тяжести) [14].

Фактор разделения Ф, определяется по формуле [14]:

$$\Phi = \omega^2 \cdot R / g = r \cdot n^2 / 900, \qquad (11.3)$$

где $\omega = \pi \cdot n / 30$ – угловая скорость вращения ротора, рад/с; r – внутренний радиус ротора, м; g – ускорение свободного падения, м/ с^2; n – скорость вращения ротора, мин.

11.2. Цель лабораторной работы

Целью данной лабораторной работы является изучение процессов обезвоживания осадков сточных вод с помощью центрифугирования.

11.3. Лабораторное оборудование

Для проведения этой лабораторной работы необходимо иметь: центрифугу типа ОПН с набором пластиковых стаканчиков; весы с разновесами; секундомер; мерный цилиндр объемом 0,5; фарфоровую чашку; сушильный шкаф; муфельный шкаф; емкость для избыточного активного ила.

11.4. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной центрифуги типа ОПН представлена на рис. 11.2. На корпусе центрифуги 1 смонтированы привод 2, пульт управления 3 и основание 4, механизм блокировки крышки 21. Привод 2 центрифуги состоит из электродвигателя 5, конусного вала 6, датчика частоты вращения и обратной связи 7. Привод соединен с кожухом 8 при помощи амортизирующих элементов. На пульте управления 3 расположены: ручка переключения частоты вращения 9; ручка управления часовым

механизмом 10; выключатель центрифуги 12; выключатель часового механизма 11; кнопка открывания крышки центрифуги 22.

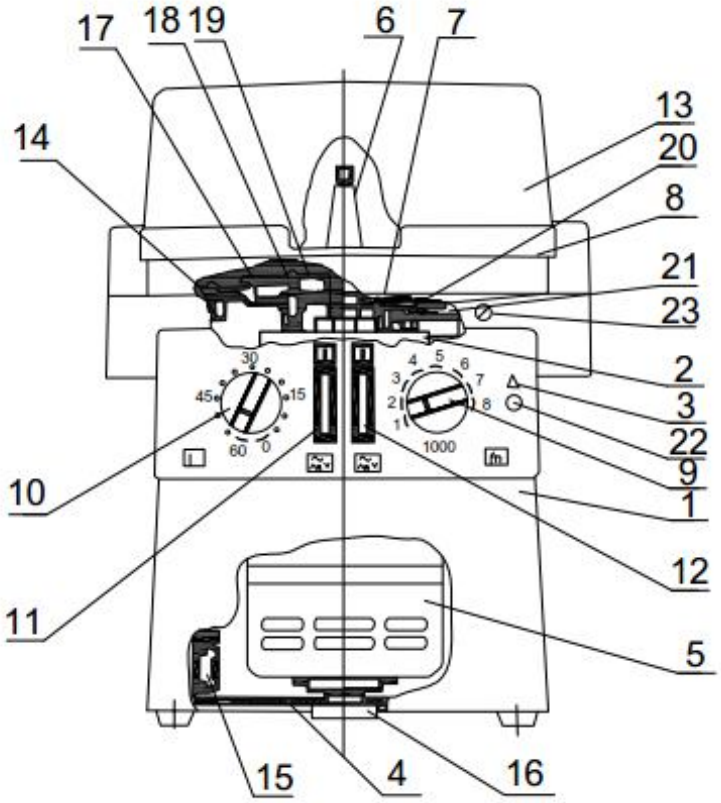

Рис.11. 2. Лабораторная центрифуга ОПН
1 – корпус; 2 – привод; 3 – пульт управления; 4 – основание; 5 – электродвигатель; 6 – вал; 7 – датчик; 8 – кожух; 9 – ручка; 10 – выключатель часов; 11 – выключатель цепи питания; 12 – включение цепи питания; 13 – крышка; 14 – винт; 15 – разъем; 16 – гайка; 17 – крышка; 18 – винт; 19 – амортизатор; 20 – винт; 21 – механизм блокировки; 22 – кнопка открывания крышки; 23 – ключ принудительного открывания крышки

В рабочей камере на конусный вал 6 устанавливается ротор, содержащий гнезда для пробирок с осадком. Ротор закрепляется на валу привода при помощи крышки или гайки. Рабочая камера закрывается прозрачной самоблокирующейся крышкой 13.

11.5. Меры безопасности при работе на центрифуге

При работе с центрифугой следует соблюдать общие правила техники безопасности при работе с электрическими приборами. Категорически запрещается:

– работать без заземления;
– работать на оборотах, свыше 8000 в минуту;
– включать центрифугу без установленного ротора;
– работать с открытыми крышками ротора и центрифуги;
– размещать в роторе нечетное число пробирок;
– работать со стеклянными пробирками на частоте вращения ротора свыше 2000 об/мин.;
– подключать центрифугу к источнику питания постоянного тока.

11.6. Порядок проведения лабораторной работы

В процессе проведения работы устанавливается зависимость эффекта обезвоживания от продолжительности при разной частоте вращения центрифуги. Для этого определяется влажность осадка по методике, изложенной в лабораторной работе № 10, при 1000, 2000 и 3000 об/мин. Продолжительность центрифугирования составляет 5,10 и 15 минут. Из емкости для осадка отбирается его проба для определения влажности.

Открывается крышка центрифуги. Плотно насаживается ротор на вал привода. Пробы осадка наливаются в два пластиковых стаканчика, которые размещаются в диаметрально противоположных гнездах ротора. Объем осадка, наливаемого в стаканчики, должен быть одинаков. Закрывается крышка ротора. Закрывается крышка центрифуги. При положении ручки 9 на отметке «0» подключается сетевой шнур центрифуги к сети переменного тока. Ручкой 9 устанавливается частота вращения центрифуги, равная 1000 об/мин. Запускается секундомер, и одновременно выключателем 12 включается центрифуга. Ручка 10 устанавливается в любое, отличное от нуля, положение. Через 5 мин работы центрифуги с помощью клавиши 11 она отключается. После ее полной остановки извлекаются пластиковые стаканчики, в одном из которых определяется влажность осадка.

Все изложенное выше повторяется при продолжительности центрифугирования, равной 10 и 15 мин.Такие же действия проводятся при частоте вращения 2000 и 3000 об/мин. Необходимая частота вращения задается ручкой 9.

11.7. Обработка результатов исследований

Результаты исследований заносятся в табл. 11.1

Таблица 11.1

Частота вращения центрифуги, об/мин, n	Влажность осадка, %, Вл				Фактор разделения, Ф
	Продолжительность центрифугирования, мин $t_ц$				
	0	5	10	15	
1	2	3	4	5	6

Фактор разделения определяется по формуле (11.3)

По данным табл. 11.1 строятся графики зависимостей Вл=f($t_ц$) при различных частотах вращения .

Лабораторная работа № 12

Обезвоживание осадков сточных вод с помощью камерных фильтр-прессов

12.1. Общие положения

Одним из методов механического обезвоживания осадков сточных вод является их обработка на фильтр-прессах. В настоящее время наиболее часто применяются автоматизированные фильтр-прессы типа ФПАКМ с поверхностью фильтрования 5, 10, 25 и 50 м^2, а также камерные фильтр-прессы типа ФК с поверхностью фильтрования 52 м^2 и объемом камер 0,9 м^3. Фильтр-пресс представляет собой устройство, в котором обезвоживание осадка осуществляется за счет принудительного процеживания фугата (отделяемой от осадка воды) через слой фильтрующей ткани [15].

Большинство осадков обладают весьма высоким удельным сопротивлением фильтрованию. Поэтому их перед обезвоживанием на фильтр-прессах подвергают кондиционированию (обработке химическими реагентами, электрокоагуляции, замораживанию и т.п.). В качестве реагентов обычно используются 10%-е водные растворы сернокислого алюминия, хлорного железа, сернокислого железа и известкового молока [15].

Удельное сопротивление осадка фильтрованию r_m, м/кг может быть определено по формуле [15]:

$$r_m = \frac{2PF^2 \cdot M}{\eta \cdot C_u}, \qquad (12.1)$$

где P = 5 кгс/см^2 = 4,91×10^5 Н/м^2 – давление в модели фильтр-пресса, при

котором осуществляется обезвоживание осадка[15]; $F=3,6\times10^3$м – площадь фильтрования модели фильтр-пресса [15]; η–10^{-3}Н·с/м^2 – вязкость фугата [15]; C_u – концентрация осадка, г/м^3; М – параметр, определяемый экспериментальным путем.

Средняя скорость фильтрования $V_{cp}^{ф}$, м/ч, определяется по формуле[15]:

$$V_{cp}^{ф} = \frac{W}{\tau \cdot F}, \qquad (12.2)$$

где W – объем фильтрата, полученный за время τ, м^3.

Производительность фильтр-прессов типа ФПАКМ $Q_{ф.п.}$,кг/(м^2·ч), определяется по формуле [15]:

$$Q_{ф.п.} = \frac{M_к \cdot C_к}{100 \cdot F \cdot \tau_ц}, \qquad (12.3)$$

где $M_к$ – масса кека, кг; $C_к$ – концентрация кека в массных процентах; $\tau_ц$ = 0,25 ч – продолжительность фильтроцикла фильтр-пресса типа ФПАКМ [8].

Сопротивление фильтровальной ткани $R_{ф.т.}$, 1/м, определяется по формуле [15]:

$$R_{ф.т.} = \frac{P \cdot F}{\eta} N, \qquad (12.4)$$

где N – параметр, определяемый экспериментально.

12.2. Цель лабораторной работы

Целью этой лабораторной работы является определение технологических параметров фильтр-пресса, на котором осуществляется обезвоживание осадка с помощью данного типа фильтровальной ткани.

12.3. Лабораторное оборудование

Для проведения лабораторной работы необходимо иметь: лабораторную установку с моделью фильтр-пресса; секундомер; весы с разновесами; мерный цилиндр объемом 1 л.

12.4. Описание лабораторной установки и порядок проведения работы

Перед началом проведения исследований производится физико-химический анализ осадка. Технологическая схема лабораторной установки приведена на рис. 12.1. В ее состав входят: модель фильтр-пресса 1, компрессор 2, ресивер 3, оборудованный манометром М-1, воздуховод 4 и мерный цилиндр 5. Воздуховод 4 оборудован вентилем В-1 и трехходовым краном ТК-1.

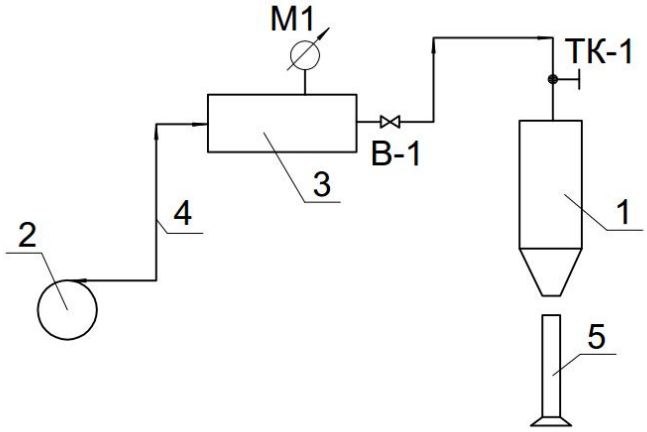

Рис. 12.1. Схема лабораторной установки

Лабораторная установка работает следующим образом. В модель фильтра 1, подготовленную к работе, загружается доза осадка. Включается компрессор 2. При закрытом вентиле В-1 по показаниям манометра М-1 в ресивере 3 устанавливается давление, равное 5 кгс/см^2. Компрессор 2 выключается. Полностью открывается вентиль В-1. При помощи трехходового крана ТК-1 в модель фильтра 1 подается сжатый воздух. При этом отмечается некоторое снижение давления в системе, которое быстро восстанавливается. В момент восстановления давления включается секундомер. Через определенные промежутки времени определяется объем фильтрата, отделившегося от обезвоживаемого осадка. Процесс обезвоживания прекращается, когда завершается отделение фильтрата от осадка. Для этого закрывается вентиль В-1, а трехходовой кран ТК-1 переводится в положение, при котором сжатый воздух из системы выпускается в атмосферу. Из модели фильтра 1 выгружается кек, масса которого определяется при помощи весов. Если в процессе обезвоживания осадка давление в системе снижается, его следует восстанавливать – включать компрессор 2. Результаты исследований заносятся в табл. 12.1.

Таблица 12.1

τ,с	V,см^3	τ/V,с/см^3
0		
60		
120		
180		
240		
300		
360		
420		
480		
540		
600		
660		
720		
780		
840		
900		

12.5. Обработка результатов исследований

По данным табл. 12.1 строится графическая зависимость τ/V от V (рис. 12.2). При помощи этой зависимости определяются параметры M и N. По формуле (12.1) определяется удельное сопротивление данного осадка сточных вод фильтрованию. По формуле (12.2) определяется средняя скорость фильтрования. По формуле (12.4) определяется сопротивление фильтровальной ткани. Результаты расчетов заносятся в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Параметр, M,	Параметр, N,	Концентрация осадка, C_u,кг/м^3	Удельное сопротивление осадка фильтрованию, м/кг, r_m	Средняя скорость фильтрования, $V_{ср}^{ф}$, м/с	Сопротивление фильтрованию ткани, 1/м $R_{ф.т.}$
1	2	3	4	5	6

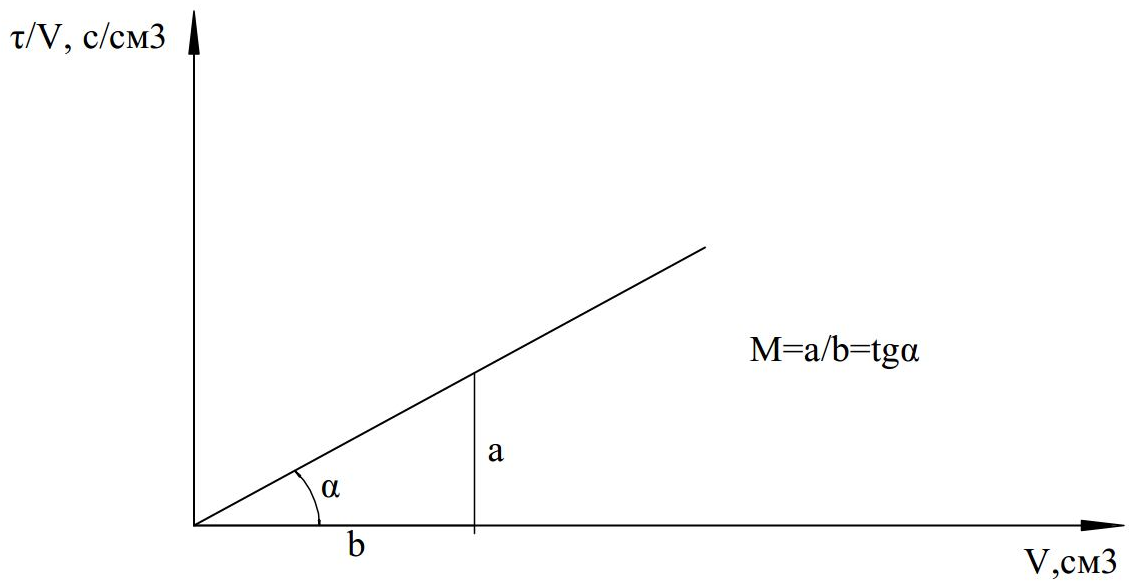

Рис. 12.2. График зависимости τ/V от V

12.6. Меры безопасности

Проведение лабораторной работы осуществляется только под руководством преподавателя или заведующего лабораторией.

До начала лабораторной работы необходимо:

– проверить лабораторную установку на герметичность;
– проверить исправность оборудования;
– подготовить всё необходимое для лабораторной работы.

Во время проведения лабораторной работы:

– контролировать давление по показателям манометра М;
– при повышении давления выключить компрессор и трехходовым краном ТК-1 стравить воздух;
– при появлении утечек приостановить проведение лабораторной работы до их полной ликвидации.

После окончания работы:

– модель фильтр-пресса промыть водой и просушить;
– заменить при необходимости фильтровальную ткань.

Список литературы

1. Изучение кинетики седиментации взвешенных веществ на торсионных весах: Методические указания к выполнению лабораторной работы по водоотведению и очистке сточных вод для студентов специальности 290800 « Водоснабжение и водоотведение» / Сост. А.Б. Адельшин, Е.Н. Сундукова. – Казань: КГАСУ, 2007.– 7 с.
2. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: Учебное пособие / В.И. Калицун [и др.] .– М: Стройиздат, 2000.– 272 с.
3. Очистка сточных вод методом электрофлотации: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 270112 (290800) «Водоснабжение и водоотведение» /Сост.: А.Б. Адельшин [и др.].– Казань: КГАСУ, 2008. – 12 с.
4. Очистка сточных вод методом ультрафильтрации: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 270112 «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Б. Адельшин [и др.].– Казань: КГАСУ, 2008 – 12 с.
5. Моделирование работы биофильтра: Методические указания к лабораторной работе для студентов специальности 290800 / Сост.: А.Б Адельшин, Н.С.Урмитова.– Казань: КГАСА, 2003.– 10 с.
6. Ласков Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учебное пособие / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. – М.: ИД «Альянс», 2008.– 255 с.
7. Моделирование работы аэротенка-смесителя: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 290800 /Сост.: А.Б. Адельшин [и др.].– Казань: КГАСУ, 2006.– 12 с.
8. Моделирование работы метантенка: Методические указания к лабораторной работе для студентов специальности 290800 / Сост.: А.Б. Адельшин, Н.С. Урмитова, В.А. Дубяго. – Казань: КГАСУ, 2003.– 11 с.
9. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С.В. Яковлев [и др.].– М: Стройиздат, 1990. – 511 с.
10. Расчет сооружений биологической очистки сточных вод населенных пунктов: Учебное пособие /А.Б Адельшин [и др.].– Казань: КГАСУ, 2011.– 93 с.
11. Определение общих коли-бактерий в воде: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Химия и микробиология воды» для студентов специальности 270112 «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Р. Каюмов, А.Б. Адельшин. – Казань: КГАСУ, 2009.–7 с.

12. Пономарев В.Г. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов/ В.Г. Паномарев, Э.Г. Иоакимис, М.А.Монгайт. – М.: Химия, 1985.– 256 с.
13. Моделирование работы метантенка: Методические указания к лабораторной работе для студентов специальности 290800/ Сост.: А.Б. Адельшин, Н.С. Урмитова, В.А. Дубяго.– Казань: КГАСА, 2003.– 11 с.
14. Обезвоживание осадков сточных вод на центрифуге: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 290800 /Сост.: А.Б. Адельшин [и др.].– Казань: КГАСУ, 2006. – 13 с.
15. Обезвоживание осадков сточных вод на камерных фильтр-прессах: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 290800 /Сост.: А.Б. Адельшин [и др.].– Казань: КГАСУ, 2006.– 9 с.

Бусарев Андрей Валерьевич
Селюгин Александр Сергеевич
Урмитова Назия Салиховна

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКА ОСАДКОВ

Лабораторный практикум по водоотведению
для студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»