

Министерство образования Российской Федерации

Государственное общеобразовательное учреждение
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный
университет

В.Ф. Бабкин, В.Д. Журавлев, И.В. Журавлева

ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Учебное пособие

В О Р О Н Е Ж - 2002

УДК 628.31(073)
ББК 38,761.2 я 7
Б 126

Очистка городских сточных вод: Лабораторный практикум /В.Ф. Бабкин, В.Д. Журавлев, И.В. Журавлева; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т.: Воронеж, 2002, - 78с.

Лабораторный практикум по курсу «Очистка городских сточных вод» даёт возможность студентам самостоятельно подготовиться и провести лабораторные исследования по оценке технологических параметров и конструктивных различий сооружений очистки сточных вод, а также обработать результаты измерений. Задания по выполнению лабораторных работ позволяют осуществить межпредметную связь, что дает навык систематизации и обобщения знаний по смежным дисциплинам. Лабораторный практикум предназначен для студентов дневного, вечернего и заочного обучения по специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение»

Ил. 21. Табл. 29. Библиогр.: 11 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

Рецензенты – кафедра химии Воронежской государственной лесотехнической академии;
Конаныхин Ю.Ф., доктор технических наук, профессор Воронежского государственного технического университета

© Воронежский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2002.

ВВЕДЕНИЕ

В третьем тысячелетии перед специалистами по проектированию, строительству и эксплуатации систем водоотведения стоят сложные и важные проблемы, связанные с повышением качества работы сетей и сооружений по транспорту и очистке городских сточных вод. Решение сложных инженерных задач должны осуществлять высококвалифицированные специалисты. Формирование профессиональных знаний, а как следствие, и взглядов, главным образом приходится на успешную подготовку студентов с целью приобретения теоретических и практических навыков. Глубокое освоение учебной программы по дисциплинам «Водоотводящие системы и сооружения» и «Очистка городских сточных вод» в значительной степени будет зависеть от содержания и постановки лабораторных работ. Наряду с этим студенты приобретают определенный навык проведения самостоятельных научных исследований, обработки полученных результатов и поиска существующих зависимостей.

Надежность транспортирования загрязненной сточной воды, а также обработка самих сточных вод и образующихся при этом осадков в значительной степени зависят от умения правильно оценить степень загрязнения сточных вод и изменение свойств осадков при изменении их технологических показателей.

Только глубокое понимание критериальных зависимостей свойств сточных вод и осадков открывает широкую перспективу для прогнозирования качества очистки сточных вод и обработки осадков, включая их обезвоживание и утилизацию.

Практикум рассматривает все виды лабораторных работ, которые предусмотрены учебной и рабочей программой и объемом изучаемого теоретического материала, согласно учебному плану для подготовки студентов по специальности инженер-строитель по водоснабжению и водоотведению.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие методические принципы проведения лабораторных работ

В лабораторных работах решаются задачи, с которыми предстоит столкнуться будущим специалистам по водоснабжению и водоотведению как при обработке сточных вод, так и образующихся осадков. Современный специалист должен иметь широкие представления и глубокие знания, чтобы умело проектировать и управлять работой водоотводящих систем, в том числе распределительных инженерных коммуникаций (лотков, каналов и трубопроводов), сооружений по очистке сточных вод и обработке осадков.

При проведении лабораторных работ целесообразно полностью воспроизводить конструкцию изучаемого сооружения в меньшем масштабе, но с соблюдением рабочих пропорций. Снижение геометрических размеров сооружений скорее дает возможность студентам визуально наблюдать процесс и оценить сущность происходящего явления, чем получение каких-либо реальных научных результа-

тов, так как при моделировании реальных процессов должны быть учтены все критерии моделирования, в том числе сточных вод и осадка.

Ввиду того, что реальные сточные воды и их осадки представляют собой определенную опасность с санитарной точки зрения, то наиболее целесообразно лабораторные исследования проводить на искусственно приготовленных смесях из стерильных продуктов. Внимание студентов должно быть обращено на соблюдение правил техники безопасности и гигиенических требований.

В тех случаях, когда получение результатов анализов достигает нескольких часов или даже суток, то на очередном лабораторном занятии можно воспользоваться результатами измерений, которые выполняют штатные сотрудники лаборатории.

Обработка опытных данных и оценка точности измерений

В процессе проведения лабораторных работ осуществляются различного рода измерения, от точности которых могут возникать ошибки, а следовательно, и погрешности опытов. Возможные ошибки можно отнести к систематическим и случайным.

Систематические погрешности следует исключать путем проверки приборов, а также использованием более совершенных измерительных устройств.

Случайные ошибки связаны с неправильной установкой приборов и личной подготовкой исследователя. Эти ошибки исключить трудно, но их можно уменьшить за счет использования более чувствительных приборов и увеличения числа измерений одних и тех же параметров при равных условиях опыта.

Величину абсолютной ошибки следует определять как разность между точным (М) и приближенным (Р) значениями одной и той же величины:

$$\pm \varepsilon = M - P.$$

Значение относительной ошибки определяется по общепринятой зависимости:

$$\delta \approx \pm \frac{\varepsilon}{M}.$$

Многие физические величины связаны между собой сложными аналитическими зависимостями, поэтому для определения возможных ошибок следует использовать известные формулы. Так, например, если физическая величина $\rho_{ст.}$, численное значение которой определяется в процессе опыта, является функцией независимых переменных: температуры воды - $x_1 = T_w$ °С; плотности жидкой и твердой фаз - $x_2 = \rho_{ж}$ и $x_3 = \rho_{т.}$ и т.д., т.е. $\rho_{ст.} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, то предельные ошибки функции $\rho_{ст.}$ должны определяться соответственно по формулам:

$$\left(\varepsilon_{\rho_{ст.}} \right)_{пр.} = \pm \left[\left| \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_1} dx_1 \right| + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_2} dx_2 \right| + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_3} dx_3 \right| + \dots + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{\partial x_n} dx_n \right| \right] ;$$

$$\left(\delta_{\text{р.с.}}\right)_{\text{пр.}} = \pm d[\ln f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)].$$

В случае измерений всех параметров с одинаковой точностью наиболее вероятным значением измерений каждого параметра будет средний арифметический результат измеренных параметров. Однако следует помнить, что среднее арифметическое значение не является точным показателем измеряемой величины, хотя и отражает наиболее вероятное значение конкретного параметра.

При проведении наиболее важных измерений следует использовать более точную оценку ошибок.

Средняя квадратичная ошибка находится по формуле

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \dots + \varepsilon_n^2)}{(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{(n-1)}},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$ - отклонения результатов отдельных измерений от их среднего арифметического значения; n – число измерений.

Вероятная ошибка измерений определяется по формуле

$$\zeta = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{(n-1)}} = \pm \frac{2}{3} \sigma.$$

Средняя ошибка отдельного измерения называется средней арифметической абсолютных величин всех случайных ошибок данного ряда “ n ” измерений.

Среднюю ошибку измерений можно вычислить по следующей зависимости:

$$\eta = \pm \frac{|a_1| + |a_2| + |a_3| + \dots + |a_n|}{n} = \pm \frac{\sum |a|}{n}$$

либо по формуле

$$\eta = \pm 0.8 \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{(n-1)}} = \pm 0.8 \cdot \sigma.$$

Результаты полученных измерений следует представлять в виде таблиц или графической зависимости. Масштабы должны выбираться с учетом обеспечения высокой точности снятия показаний.

Если полученные графики представляют линейную зависимость, то ее можно описать уравнением

$$y = a + bx.$$

В тех случаях, когда разности первого порядка функции при одинаковых изменениях аргумента изменяются пропорционально величине x , кривая может быть описана зависимостью

$$y = a + bx^2.$$

Если экспериментальные величины в логарифмических координатах располагаются на прямой, то возможно применение следующей зависимости:

$$y = a + bx^n,$$

так как

$$\lg y = \lg a + n \lg x.$$

Оформление лабораторной работы

Для записей основных теоретических сведений по каждой лабораторной работе, основных получаемых опытных данных, результатов их обработки необходимо иметь специальную учебную тетрадь объемом 18-24 листа. По каждой лабораторной работе составляются таблицы с исходными и опытными данными. Форма таблиц указывается для каждой работы отдельно при описании порядка проведения работ. Все записи в тетради для лабораторных работ производятся самим студентом чернилами чёрного, синего или фиолетового цвета разборчиво и аккуратно.

После снятия показаний по каждой лабораторной работе заполняется журнал учета и осуществляется полная обработка полученных данных.

Каждая лабораторная работа должна заканчиваться конкретными выводами и письменными лаконичными ответами на контрольные вопросы и отчётом преподавателю, ведущему данные лабораторные работы.

Отчёт по лабораторной работе

К защите лабораторной работы допускаются студенты, которые полностью оформили работу, т.е. получили опытные данные, проанализировали и обобщили полученные результаты в виде конкретных выводов, а также письменно дали исчерпывающие ответы на контрольные вопросы.

Во время защиты лабораторной работы студент должен пояснить каждое принятое решение. При положительном ответе на поставленные вопросы лабораторная работа считается отчитанной.

ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

При рассмотрении состава сточных вод одним из наиболее важных показателей является концентрация загрязнений, т.е. масса загрязнений (по абсолютно сухому веществу), содержащихся в единице объема воды. Обычно концентрация загрязнений измеряется в мг/л или в г/м³.

Изменение концентрации загрязнений в сточных водах, например по взвешенным веществам, ведет к изменению их плотности, что существенно влияет на изменение транспортирующей способности потока, а следовательно, на надежность работы водоотводящих систем и степень очистки сточных вод.

Концентрация загрязнений сточных вод обычно определяется двумя способами: лабораторным [1,2] или расчетным путем. Так, количество загрязнений по отдельным показателям для бытовых сточных вод нормируются СНиП [5, табл.25]. Зная норму водоотведения на одного человека в л/сут – n_i , можно вычислить содержание этих загрязнений в единице объема, т.е. установить концентрацию их в мг/л по формуле

$$C_{ji} = \frac{a_j \cdot 1000}{n_i}, \quad (1.1)$$

где a_j – показатель загрязнений, поступающих в сточную воду от одного жителя, г/сут [5, табл.25]; n_i – норма водоотведения бытовых сточных вод (с учетом степени благоустройства зданий) в расчете на одного жителя, в л/сут.

При наличии в населенном пункте зданий с различной степенью благоустройства, а также определенного количества промышленных предприятий с разной концентрацией загрязнений (осредненной за сутки) концентрацию загрязнений смеси бытовых и производственных сточных вод можно вычислить по формуле

$$C_{см.} = \frac{\sum C_{быт.} \cdot Q_{быт.} + \sum C_{пп.} \cdot Q_{пп.}}{\sum Q_{быт.} + \sum Q_{пп.}}, \quad (1.2)$$

где $C_{быт.}$ и $C_{пп.}$ – концентрация вычисляемого вида загрязнений соответственно в бытовых и промышленных сточных водах, г/м³ или мг/л;

$Q_{быт.}$ и $Q_{пп.}$ – суточные расходы соответственно бытовых сточных вод от районов с различной степенью благоустройства зданий и от промышленных предприятий, м³/сут.

Например, по взвешенным веществам концентрацию загрязнений смеси бытовых и производственных сточных вод, г/м³ или мг/л, можно определить по формуле

$$K_{см.} = \frac{K_1 \cdot Q_1 + K_2 \cdot Q_2 + \dots + K_k \cdot Q_k + K_{1пп.} \cdot Q_{1пп.} + \dots + K_{мпп.} \cdot Q_{мпп.}}{\sum_1^k Q_k + \sum_1^m Q_{мпп.}}, \quad (1.3)$$

где K_1, K_2, \dots, K_k – концентрация взвешенных веществ, найденная по формуле (1.1) соответственно для 1, 2, ..., k района с соответствующей нормой водоотведения, мг/л или г/м³;

$Q_{1пп.}, \dots, Q_{мпп.}$ – суточные расходы сточных вод от соответствующих промышленных предприятий, м³/сут.

Плотность чистой водопроводной воды [4] при температуре $T_w=15$ °С и нормальном атмосферном давлении составляет $\rho_{вод.}=999$ кг/м³.

Плотность сточных вод и осадка существенно зависят от концентрации взвешенных веществ и плотности их частиц. Для бытовых сточных вод с содержанием $K_{вз.}$ (мг/л) взвешенных веществ, состоящих на 70-80 % из органических веществ, при условии $50 < K_{вз.} \leq 600$ мг/л плотность сточной воды по данным проф. Федорова Н.Ф. [4,7], т/м³, может быть определена по формуле

$$\rho_{ст.в.(быт.)} = 1.0002 + 7.4 \cdot 10^{-7} \cdot K_{вз.}. \quad (1.4)$$

Величину плотности любой сточной жидкости можно найти по известной зависимости – как отношение массы вещества к занимаемому объему, кг/м³ или т/м³:

а) для воды
$$\rho_{вод.} = M_{вод.}/V_{вод.}; \quad (1.5)$$

б) для твердых частиц по массе сухого вещества или объему без учета пор

$$\rho_{тв.} = M_{тв.}/V_{тв.}. \quad (1.6)$$

Плотность сточных вод также можно вычислить по формуле [4] через объемную концентрацию S_o , представляющую собой отношение объема твердых частиц в плотном теле к объему в смеси, т.е.

$$S_o = V_{\text{ТВ.}} / V_{\text{см.}} \quad (1.7) \quad \text{или} \quad S_o = \frac{(\rho_{\text{см.}} - \rho_{\text{вод.}})}{(\rho_{\text{ТВ.}} - \rho_{\text{вод.}})}, \quad (1.7a)$$

тогда
$$\rho_{\text{см.}} = \rho_{\text{вод.}} + S_o \cdot (\rho_{\text{ТВ.}} - \rho_{\text{вод.}}), \quad (1.8)$$

либо плотность сточных вод можно выразить через массовую концентрацию S_m , представляющую собой отношение массы твердого вещества к массе всего объема смеси, т.е.

$$S_m = \frac{M_{\text{ТВ.}}}{(M_{\text{ВОДЫ}} + M_{\text{ТВ.}})} = \frac{M_{\text{ТВ.}}}{M_{\text{см.}}} \quad (1.9)$$

С учетом условия формулы (1.9) получим

$$\rho_{\text{см.}} = \left(1 - S_m + S_m \cdot \frac{\rho_{\text{ВОД.}}}{\rho_{\text{ТВ.}}} \right) = \rho_{\text{ВОД.}} \quad (1.10)$$

С учетом формул (1.8) и (1.10) соотношение Т - твердой и Ж – жидкой фаз, т.е. Т/Ж (по массе или объему), можно выразить зависимостью

$$\frac{T}{Ж} = \frac{S_o}{1 - S_o} = \frac{\frac{\rho_{\text{см.}} - \rho_{\text{ВОД.}}}{\rho_{\text{ТВ.}} - \rho_{\text{ВОД.}}}}{1 - \frac{\rho_{\text{см.}} - \rho_{\text{ВОД.}}}{\rho_{\text{ТВ.}} - \rho_{\text{ВОД.}}}} = \frac{\rho_{\text{см.}} - \rho_{\text{ВОД.}}}{\rho_{\text{ТВ.}} - \rho_{\text{ВОД.}}} \quad (1.11)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.1

Анализ изменения концентрации загрязнений в сточных водах в зависимости от степени благоустройства зданий в населенных пунктах

Цель работы – поиск и выявление закономерности изменения степени загрязнения бытовых сточных вод при переменных значениях нормы водоотведения.

Краткие теоретические сведения

Опытом эксплуатации установлено, что в жилых зданиях с различной степенью благоустройства нормы водоотведения в литрах на 1 человека в сутки также будут различными. Согласно СНиП нормы водоотведения следует принимать с учётом степени благоустройства жилых зданий или по табл. 1.1.

Из табл. 1.1 видно, что норма водоотведения увеличивается с увеличением степени благоустройства зданий.

Если нормы водоотведения могут меняться с изменением степени благоустройства жилых зданий, то количество загрязнений, которые вносятся одним чело-

веком в граммах за одни сутки, остаются постоянными и нормируются СНиП [5, табл. 25, с. 21] либо принимаются по табл. 1.2.

Таблица 1.1

Степень благоустройства жилых зданий	Норма водоотведения, л/(чел.·сут)
Здания оборудованы холодным водоснабжением и канализацией, но без ванн	125 – 140
Здания оборудованы холодным водоснабжением, канализацией и горячим водоснабжением с водонагревателями:	150 – 180
- на твердом топливе	230 – 250
- на газе	
Здания оборудованы централизованным холодным и горячим водоснабжением с канализацией	300 – 350

Таблица 1.2

Наименование загрязнений	Количество загрязнений, вносимых одним человеком, в граммах за 1 сутки
Взвешенные вещества (<i>K</i>)	65
Потребность в кислороде для окисления органических веществ, т.е. БПК _{полн.}	75
Азот аммонийных солей (<i>N</i>)	8.0
Фосфаты (P_2O_5)	3.3

Так как количество вносимых в воду загрязнений одним человеком является величиной постоянной и не зависит от степени благоустройства зданий, то концентрация любого нормируемого вещества будет изменяться от количества воды, в которую будут поступать те или иные загрязнения.

Знание концентрации различных веществ в сточной воде позволит оценить степень ее загрязненности, а следовательно, можно прогнозировать не только надежность работы водоотводящих сетей, но и сооружений по очистке сточных вод.

Порядок выполнения работы

1. Вычислить концентрацию каждого вида загрязнения сточных вод при всех возможных нормах водоотведения.
2. Для оценки концентрации вещества конкретного вида загрязнений C_{ji} , мг/л, при любой норме водоотведения следует воспользоваться формулой (1.1). Для оценки конкретного вида загрязнений целесообразно воспользоваться зависимостями:
 - а) по взвешенным веществам, в мг/л

$$K_i = \frac{65 \cdot 1000}{n_i}, \quad (1.12)$$

б) по БПК_{полн.}

$$L_i = \frac{75 \cdot 1000}{n_i}, \quad (1.13)$$

в) по азоту аммонийных солей

$$N_i = \frac{8 \cdot 1000}{n_i}, \quad (1.14)$$

г) по фосфатам (P₂O₅)

$$P_i = \frac{3.3 \cdot 1000}{n_i}. \quad (1.15)$$

Оформление работы

Вычисленные значения концентрации загрязнений по формулам (1.12), (1.13), (1.14) и (1.15) следует занести в расчетную табл. 1.3 и построить графики зависимости (рис.1.1).

Таблица 1.3

Наименование загрязняющего вещества	Норма водоотведения n_i , л/(чел.·сут)						
	125	150	180	230	250	300	350
K_i , мг/л							
L_i , мг/л							
N_i , мг/л							
P_i , мг/л							

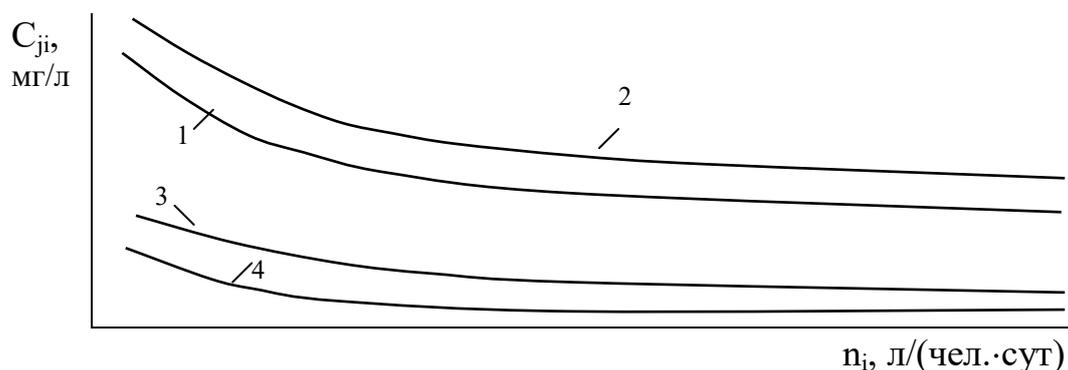


Рис. 1.1. График зависимости концентрации загрязнений от нормы водоотведения:

- 1 – по взвешенным веществам; 2 – по БПК_{полн.};
3 – по общему азоту; 4 – по фосфору

По результатам вычислений и графическим зависимостям следует составить общие выводы и дать исчерпывающие ответы на контрольные вопросы.

При составлении общих выводов необходимо увязать полученные результаты с гидравлическими процессами, имеющими место в водоотводящих сетях и сооружениях механической очистки сточных вод, а также влияние БПК, азота и

фосфора на работу сооружений биологической очистки сточных вод, используя знания курса лекций “Химия воды и микробиология” [1].

Контрольные вопросы

1. По каким показателям загрязнений бытовые сточные воды будут иметь большие значения концентрации?
2. Как повлияет снижение расхода воды (норма водоотведения) на показатели концентрации загрязнений, плотность и вязкость сточных вод?
3. Как концентрация загрязнений по взвешенным веществам повлияет на надежность работы водоотводящих сетей и на работу сооружений механической очистки сточных вод (по степени очистки)?
4. Какие показатели загрязнений сточных вод представляют наибольшую опасность для водоемов и почему?
5. По концентрации каких загрязнений сточных вод можно судить о применении глубокой биологической очистки сточных вод?

Литература [1, с.76-78], [2, с. 72-84], [4, с. 13-15], [5, с.21], [7, с.17-36].

ТЕМА 2. ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД

В процессе очистки сточных вод образуются сырые осадки в первичных отстойниках и биологическая пленка (после биофильтров) или активный ил (после аэротенков) из вторичных отстойников.

Сырой осадок имеет влажность 93-95 %, представляет собой жидкую текучую массу, но при снижении влажности до 90-87 % осадок имеет концентрацию типа «сметаны», а при влажности 80-85 % имеет вид влажной земли.

Активный ил имеет влажность до 99,8 %, но при влажности 91-88 % напоминает сметанообразную массу, а при влажности 85 % и ниже – вид увлажненной земли.

Большая часть влаги осадков находится в связанном состоянии, поэтому осадки обладают низкой водоотдачей. Увеличение в активном иле числа коллоидных и мелкодисперсных частиц с размером от 10 мкм (микрон) до 0,2 мкм вызывает дальнейшее ухудшение водоотдающей способности осадка.

При обработке осадков необходимо знать технологические параметры, которые в полной мере характеризуют осадок. Такими показателями являются: концентрация, влажность, зольность, плотность и удельное сопротивление осадка.

Влажностью осадка называется отношение веса воды к весу всего осадка. Влажность осадка может измеряться в долях единицы и в процентах.

Баланс массы влажного осадка может быть представлен уравнением вида

$$M_{\text{вл.ос.}} = M_{\text{сух.ос.}} + M_{\text{воды}} \quad (2.1)$$

где $M_{\text{вл.ос.}}$ – масса влажного осадка, кг; $M_{\text{сух.ос.}}$ – масса абсолютно сухого вещества осадка, кг; $M_{\text{воды}}$ – масса воды, кг.

Влажность осадка в процентах характеризуется зависимостью

$$B_{\text{ос.}} = \frac{M_{\text{воды}}}{M_{\text{вл.ос.}}} \cdot 100. \quad (2.2)$$

В лабораторных условиях взвешивание самого сосуда, а также с сухим и влажным осадком следует вести с точностью до 0,01 г. Исходную влажность, %, можно находить по формуле

$$B_{\text{ос.}} = \frac{(a - b)}{(a - c)} \cdot 100, \quad (2.3)$$

где a – вес сосуда с влажным осадком, г; b – вес сосуда с сухим осадком, г; c – вес пустого сосуда, г.

Осадки, которые образуются в процессе очистки сточных вод, имеют различную влажность. С изменением влажности осадка меняется его объем и плотность.

В настоящее время используется зависимость, которая отражает соотношение объемов осадка при различных значениях его влажности как обратно пропорциональное отношение содержания в нем твердого вещества, т.е. по формуле [9]

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{(100 - B_1)}{(100 - B_2)}, \text{ откуда } W_2 = W_1 \cdot \frac{100 - B_1}{100 - B_2}, \quad (2.4)$$

где W_1 – объем осадка в м^3 , с влажностью B_1 ;

W_2 – объем того же осадка в м^3 , но при влажности B_2 .

Плотность осадка – это отношение веса осадка к его объему, кг/л или $\text{т}/\text{м}^3$. Плотность осадка, г/мл, в лабораторных условиях определяют по формуле

$$\rho_{\text{ос.}} = \frac{P_{\text{ос.}}(B_{\%})}{V_{\text{ос.}}} = \frac{M_{\text{вл.ос.}}}{V_{\text{ос.}}} \quad (2.5)$$

где $P_{\text{ос.}}(B_{\%}) = M_{\text{вл.ос.}}$ – вес (масса) осадка при его фактической влажности, г;

$V_{\text{ос.}}$ – объем осадка, мл.

Концентрацией взвешенных веществ называется содержание абсолютно сухого вещества в единице объёма жидкости, которая измеряется в мг/л или $\text{г}/\text{м}^3$.

Концентрацию взвешенных веществ в осадке можно определить по следующей зависимости:

$$K_{\text{вз.}} = \frac{100 - B_{\text{ос.}}}{100} \cdot \rho_{\text{ос.}}, \quad (2.6)$$

где $B_{\text{ос.}}$ – влажность исходного осадка, %; $\rho_{\text{ос.}}$ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Наличие в осадке органических веществ требует определения значения зольности. Обычно при прокаливании осадка при температуре выше 400°C органическая масса осадка выгорает без остатка, а минеральная масса представляет собою золу. Отношение массы золы G_3 к массе сухого осадка $G_{\text{сух.}}$, выраженное в процентах, носит название «зольность осадка» и вычисляется по формуле

$$Z_{\text{ос.}} = \frac{G_3}{G_{\text{сух.}}} \cdot 100, \quad \%. \quad (2.7)$$

Массу сухого вещества осадка определяют в процессе взвешивания (после сушки при температуре 105 °С и доведения до постоянного веса) или вычисляют расчетным путем по формуле

$$G_{\text{сух.}} = G_{(B)} \cdot \frac{100 - B_{\text{ос.}}}{100}, \quad (2.8)$$

где $G_{(B)}$ – вес осадка при его фактической влажности – $B_{\text{ос.}}$.

Зольность осадка может измеряться в долях единицы или в процентах и находится по формулам

$$Z_{\text{ос.}} = \frac{d - c}{b - c} \quad \text{в долях единицы} \quad \text{или} \quad Z_{\text{ос.}} = \frac{d - c}{b - c} \cdot 100, \quad \% \quad (2.9)$$

где d – вес сосуда с золой, г.

Удельное сопротивление осадка является обобщенным показателем его влагоотдающих свойств и представляет собой сопротивление единицы массы твердой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением суспензии и вязкости жидкой фазы, равной единице. Удельное сопротивление осадка, см/г, определяется опытным путем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.1

Изучение основных свойств осадка

Цель работы – изучить методику лабораторного анализа по определению основных показателей, характеризующих свойства осадков.

Оборудование: муфельная печь; сушильный шкаф; эксикатор; аналитические весы; мерные цилиндры и сосуды (фарфоровые чашки).

Краткие теоретические сведения

При очистке сточных вод в первичных отстойниках образуется сырой осадок. Образующийся осадок характеризуется различными свойствами и составом, которые в свою очередь зависят от технологической схемы обработки сточных вод и технологических процессов, а также условий образования сточных вод.

Для биологической очистки сточных вод используют колонии различных микроорганизмов, которые извлекаются из очищенной сточной воды во вторичных отстойниках или флотаторах. Часть активного ила возвращается в систему биологической очистки и после регенерации (восстановления своей окислительной способности) вновь удаляет из сточной воды органические загрязнения. Избыточный активный ил (после аэротенков) или биологическая плёнка (после биофильтров) исключаются из биологической системы и подвергаются дальнейшей обработке. Свойства активного ила диктуют выбор дальнейших способов и технологических параметров его обработки.

Порядок выполнения работы

1. Взять сухой (прокаленный) сосуд и взвесить его с необходимой точностью – c , полученный результат занести в журнал (табл. 2.1).

2. Предварительно высушенный осадок поместить в пустой сосуд и выполнить повторное взвешивание, т.е. найти – b .
3. Далее в сосуд с сухим осадком добавить 100 мл подготовленной в другом мерном сосуде чистой (дистиллированной) воды и измерить объем осадка в мл, а также произвести измерение веса сосуда с осадком, т.е. смеси сухого вещества осадка с водой – a .
4. Аналогично п.1 произвести взвешивание пустой фарфоровой чашки $C_{\text{ч}}$, заполненной сухим осадком и найти вес чашки с сухим осадком – b .
5. Произвести прокаливание сухого осадка, поместив чашку с сухим осадком в муфельную печь с температурой нагрева не ниже 800°C на 20 минут. После прокаливания чашку с золой поместить в эксикатор до полного охлаждения, а затем взвесить на аналитических весах – $d_{\text{ч}}$.

Оформление работы

Значения всех замеров определяемых параметров занести в табл. 2.1. и табл. 2.2.

Таблица 2.1

Опытные данные для определения концентрации взвешенных веществ, влажности и плотности осадка

Вес сухого сосуда, г	Объем сухого насыпного осадка, мл	Масса сухого сосуда с осадком, г	Объем воды, мл.	Масса воды, г	Масса сосуда с сырым осадком, г	Суммарный объем смеси (сырого осадка), мл	Объем плотного осадка (без учета пор), мл.
c	$V_{\text{сух.ос.}}$	b	$V_{\text{вод}}$	$M_{\text{вод}}$	A	$\sum V_{\text{вл.ос.}}$	$V_{\text{пл.ос.}}$

Таблица 2.2

Данные для определения зольности осадка

Номер опыта (тип осадка)	Масса пустой сухой фарфоровой чашки, г	Масса, г				Зольность осадка	
		чашки с сухим осадком	сухого осадка	чашки с золой	зола	в долях единицы	в процентах
1.	c	b	$M_{\text{сух.ос.}}$				
2.							
3.							

Определение технологических параметров осадка следует производить по следующим зависимостям:

- объем плотного осадка (при заполнении пор водой) вычислим по формуле

$$V_{\text{пл.ос.}} = \sum V_{\text{вл.ос.}} - V_{\text{вод}}, \text{ мл}; \quad (2.10)$$

- масса сухого осадка вычисляется по уравнению

$$M_{\text{сух.ос.}} = b - c ; \quad (2.11)$$

- плотность уплотненного сухого осадка, г/мл, можно найти по зависимости:

$$\rho_{\text{пл.сух.ос.}} = \frac{M_{\text{сух.ос.}}}{V_{\text{сух.ос.}}}, \quad (2.12)$$

- плотность сырого осадка, г/мл, будет равна

$$\rho_{\text{вл.ос.}} = \frac{M_{\text{вл.ос.}}}{V_{\text{вл.ос.}}}, \quad (2.13)$$

где $M_{\text{вл.ос.}} = a - c$ – масса влажного осадка, г.

$$B_{\text{ос.}} = \frac{M_{\text{воды}}}{M_{\text{вл.ос.}}} \cdot 100 = \frac{a - b}{a - c} \cdot 100. \quad (2.14)$$

Концентрацию взвешенных веществ, мг/л, следует находить по формуле (2.6) или по уравнению

$$K_{\text{вз.}} = \frac{M_{\text{сух.ос.}} \cdot 1000}{V_{\text{вод.}} / 1000} = \frac{M_{\text{сух.ос.}} \cdot 10^6}{V_{\text{вод.}}}. \quad (2.15)$$

Зольность осадка следует определять по формуле (2.7) или (2.9).

В общих выводах необходимо отразить зависимость плотности осадка от содержания в нём влаги, а также изменение плотности осадка с изменением его влажности и дать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какой осадок обладает меньшей влажностью (из первичных или вторичных отстойников) и большей концентрацией взвешенных веществ?
2. Почему сырой осадок из первичных отстойников имеет большую плотность, чем активный ил из вторичных отстойников?
3. Какой показатель в осадках выше: влажность или зольность?
4. Можно ли по зольности осадка судить о его происхождении?
5. Как изменяется плотность осадка с изменением его влажности? Построить зависимость $\rho_{\text{ос.}} = f(B_{\text{ос.}})$.

Литература [3, с. 209-210]; [6, с.13, 21, 95]; приложение 1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.2

Изучение изменений объёма осадка в зависимости от его влажности

Цель работы – выявить закономерность изменения объёма осадка с изменением его влажности.

Оборудование: сушильный шкаф; аналитические весы и мерные цилиндры.

Краткие теоретические сведения

Известно, что осадки образуются в процессе очистки сточных вод и имеют различную влажность.

Влажность осадка в лабораторных условиях следует определять по общепринятой методике, используя формулу (2.14).

Для определения объема осадка V_k при любой другой влажности B_k , отличающейся от начальной B_n , при которой был найден начальный объем осадка V_n , следует пользоваться известной зависимостью

$$V_k = V_n \cdot \frac{100 - B_n}{100 - B_k}, \quad (2.16)$$

где V_n – начальный объем осадка, мл; V_k – конечный объем осадка, мл;

B_n – начальная влажность осадка, %; B_k – конечная влажность осадка, %.

Порядок выполнения работы

1. Взять чистую сухую чашку (сосуд) и взвесить. Вес чистой сухой чашки записать в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Вес чистой сухой чашки, г	Вес чашки (сосуда), г		Влажность осадка, %	Объем осадка, мл
	с сухим осадком	с сырым осадком		
$c=$	$b=$	$a_1=$	$B_1=$	$V_1=$
		$a_2=$	$B_2=$	$V_2=$
		$a_3=$	$B_3=$	$V_3=$

С целью сокращения продолжительности проведения лабораторной работы исключается операция по испарению влаги в сушильном шкафу.

2. Поместить в чистую чашку сухой осадок (высушенный до постоянного веса) и повторно взвесить её с сухим осадком. Можно вместо обычной фарфоровой чашки иметь мерный цилиндр с делениями в мл, чтобы одновременно можно было фиксировать объем осадка. Полученная величина веса сосуда с сухим осадком заносится в табл. 2.3.

3. Заполнить другой мерный цилиндр чистой водопроводной водой объемом 100 мл, а далее перелить ее в сосуд с сухим осадком и измерить объем осадка – V_1 в мл. Далее определить вес сосуда a_1 с сырым осадком при объеме V_1 . Полученные значения a_1 , и V_1 заносятся в табл. 2.3.

4. Далее добавить в сосуд с сырым осадком (при весе a_1 , B_1 и V_1) дополнительно объем воды равный 50 мл и вновь найти a_2 , B_2 и V_2 . Полученные значения вновь занести в табл. 2.3.

5. Для оценки влияния влажности на изменение объема осадка произвести дополнительное изменение влажности осадка добавлением воды в тот же сосуд с сырым осадком при V_2 , а результаты замеров также записать в табл. 2.3.

Оформление работы

1. Вычислить значения влажности B_1 , B_2 и B_3 , %:

$$B_1 = \frac{a_1 - b}{a_1 - c} \cdot 100; \quad B_2 = \frac{a_2 - b}{a_2 - c} \cdot 100; \quad B_3 = \frac{a_3 - b}{a_3 - c} \cdot 100.$$

2. Приступить к оценке расчётных зависимостей объёма осадка по известной зависимости (2.16) для соответствующей влажности, т.е. вычислить объёмы осадка, мл:

$$V_2^* = V_1 \cdot \frac{100 - B_1}{100 - B_2}, \quad V_3^* = V_2^* \cdot \frac{100 - B_2}{100 - B_3}. \quad (2.16a)$$

3. Оценить величину ошибки опытов:

а) абсолютной ошибки

$$\pm \varepsilon_1 = V_2^* - V_2; \quad \pm \varepsilon_2 = V_3^* - V_3; \quad \pm \varepsilon_{\text{ср.}} = \frac{(\pm \varepsilon_1) + (\pm \varepsilon_2)}{2}; \quad (2.17)$$

б) относительной ошибки:

- в долях единицы

$$\delta_1 = \pm \frac{\varepsilon_1}{V_2^*} \quad \text{и} \quad \delta_2 = \pm \frac{\varepsilon_2}{V_3^*}; \quad (2.18)$$

- в процентах

$$\delta'_1 = \delta_1 \cdot 100 \quad \text{и} \quad \delta'_2 = \delta_2 \cdot 100; \quad \delta'_{\text{ср.}} = \frac{\delta'_1 + \delta'_2}{2}. \quad (2.19)$$

4. В конце оформленной лабораторной работы необходимо сделать соответствующие выводы. В выводах следует отразить точность аналитической зависимости изменения расчётного и фактического объёма осадка с изменением его влажности.

Контрольные вопросы

1. Влияет ли влажность осадка на его объём? Если да, то как?
2. Что необходимо предпринять, чтобы уменьшить объем сооружений для обработки (сбраживания) смеси осадка из первичных отстойников влажностью 93-95 % и избыточного неуплотненного ила из вторичных отстойников влажностью 99,6-99,2 %?
3. Каким образом без уплотнения избыточного активного ила в уплотнителях можно снизить влажность смеси сырого осадка и ила?

Литература [3, с. 209-210]; [6, с. 13, 21, 95]; [9, с. 171].

ТЕМА 3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Наличие в сточной воде нерастворенных веществ требует их глубокого удаления до минимальных размеров, чтобы облегчить их сорбцию и окисление аэробными микроорганизмами при биологической очистке.

В настоящее время процесс осветления сточных вод в большинстве случаев осуществляется в отстойных сооружениях типовых конструкций, которые имеют низкое гидравлическое совершенство. В связи с постоянным увеличением притока сточных вод требуется более высокий эффект очистки. Повышение пропускной способности сточных вод на существующих типовых отстойных сооружениях приведет к существенному снижению качества очистки воды в них.

Повышение производительности и качества очистки сточных вод в реальных типовых отстойниках практически достичь не возможно, поэтому целесообразно использовать более совершенные конструкции распределительных устройств.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.1

Определение коэффициента объёмного использования отстойной зоны при впуске воды в отстойник из-под щита

Цель работы – оценить гидравлическое совершенство распределительного устройства, применяемого в типовых конструкциях горизонтальных отстойников.

Оборудование: модель (в масштабе 1:100) установки горизонтального отстойника из органического стекла (см. рис. 3.1); распределительное устройство в виде щита полупогружной доски; краситель (чернила); стеклограф.

Краткие теоретические сведения

Степень удаления из сточной воды нерастворенных веществ зависит не только от их размера, плотности и гидравлической крупности, но и от гидравлического совершенства отстойного сооружения. Только при идеальных условиях впуска воды на осветление и выпуска ее после осветления можно обеспечить равномерное распределение расходов и скоростей движения воды в любой площади живого сечения отстойника. При равенстве скоростей движения воды по всему объёму отстойника будут обеспечиваться равные условия для осаждения нерастворённых веществ, а время отстаивания воды будет стремиться к средней продолжительности, найденной различными способами, например:

$$\frac{W_{\text{отс.}}}{q} = t_{\text{отс.}} = \frac{L}{v}, \quad (3.1)$$

где $W_{\text{отс.}}$ – объём отстойной зоны, м³; q – расход сточных вод, м³/ч; L – длина отстойной зоны, м; v – скорость движения воды в отстойнике, м/ч.

Однако выполнение равных гидравлических условий по всему объёму отстойника практически невозможно, т.к. при различных впускных и выпускных устройствах меняются параметры скорости течения воды, а также могут возникать водоворотные и застойные зоны. Наличие неблагоприятных условий для равномерного распределения скоростей и уменьшение объёма активной (проточной) зоны снижает время пребывания воды в отстойнике, а следовательно, ведёт к ухудшению эффекта осветления воды, т.е. уменьшению степени улавливания взвешенных веществ.

Гидравлическое совершенство условий работы отстойника любого типа следует оценивать объективным технологическим параметром. Таким параметром может быть коэффициент объёмного использования отстойника – $K_{\text{о.и.}}$, представляющий собой отношение объёма активной – $W_{\text{акт.}}$ (проточной) зоны к общему объёму отстойника – $W_{\text{отс.}}$.

$$K_{o.и.} = \frac{W_{акт.}}{W_{отс.}} \quad (3.2)$$

Общий объём отстойного сооружения определяется по его геометрическим размерам. Объём горизонтального отстойника следует вычислять по формуле, м³,

$$W_{отс.} = B_{отс.} \cdot H_{ср.} \cdot L_{отс.}, \quad (3.3)$$

где $B_{отс.}$ – ширина одного отстойника, м; $H_{ср.}$ – глубина рабочей (проточно-отстойной) зоны, м; $L_{отс.}$ – длина отстойника, м.

Согласно СНиП [5] значение коэффициента объемного использования горизонтального отстойника равняется $K_{o.и.}=0.5$. Низкое значение $K_{o.и.}$ свидетельствует о наличии неблагоприятных гидравлических условий, которые существенно зависят от типа распределительного устройства, соотношений между основными размерами отстойника: глубины к длине и глубины к ширине сооружения.

Водоворотные, застойные и активная зоны в отстойнике могут быть установлены визуальным наблюдением за растеканием окрашенной воды в сооружении и выявлением границ проточной зоны отстойника при различных условиях.

Порядок выполнения работы

1. В лабораторной тетради вычертить лабораторную установку, на которой проводятся исследования (рис.3.1), включающую в себя: модель горизонтального отстойника, выполненного из органического стекла, и систему подачи воды и красителя. В качестве распределительного устройства принят типовой впуск воды в отстойную зону – из-под щита.

Моделирование отстойника выполнено по закону Фруда $F_{г.мод.} = F_{г.нат.}$,

так как на изучаемую систему действуют силы тяжести, и имеет размеры, приведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные параметры отстойника

Длина отстойника $L_{отс.}$, см	Ширина $B_{отс.}$, см	Глубина, см			Общий объём отстойника $W_{отс.}$, см ³
		в начале $H_{нач.}$	в конце $H_{кон.}$	средняя $H_{ср.}$	
39	2	4,6	4,0	4,3	335,4

2. На трубопроводе 1 открыть вентиль для подачи рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости следует использовать водопроводную питьевую воду. Модель заполняется рабочей жидкостью и устанавливается расчетный режим. Течение воды в модели должно соответствовать турбулентному режиму, что регулируется расходом воды.

3. При установившемся режиме течения жидкости произвести замеры основных геометрических параметров: длины – $L_{отс.}$; ширины модели – B ; глубины слоя воды в начале и в конце отстойника, а также глубины проточной зоны под погружной доской 12 и над водосливом 6 в конце отстойника.

4. На трубопроводе 10 открыть регулирующее устройство (зажим) и подать краситель из ёмкости 9 в распределительную камеру 2.

5. По мере перемещения окрашенной воды в отстойной зоне 5 на наружной стенке модели отстойника стеклографом зафиксировать границы окрашенного потока воды по всей длине модели. На рис. 3.1 граница окрашенного условно потока рабочей жидкости показана пунктирной линией.

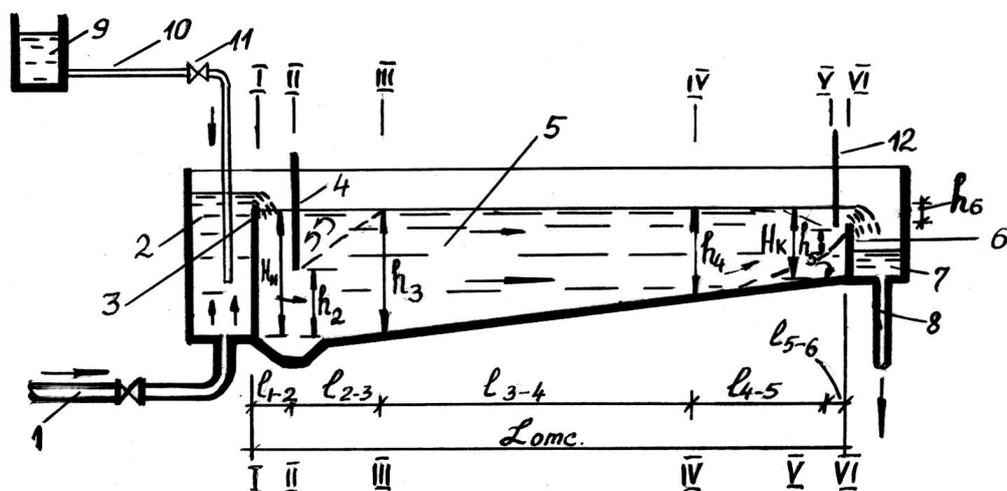


Рис. 3.1. Схема горизонтального отстойника с впуском воды в отстойник из-под щита:

- 1 – трубопровод для подачи рабочей жидкости; 2 – приёмная камера;
- 3 – водослив с тонкой стенкой в начале отстойника;
- 4 – распределительное устройство в виде погружного щита;
- 5 – отстойная зона; 6 – водослив с тонкой стенкой в конце отстойника;
- 7 – сборная камера для приёма отработанной жидкости;
- 8 – трубопровод для отвода отработанной жидкости в канализацию;
- 9 – ёмкость с красителем; 10 – трубопровод для подачи красителя;
- 11 – регулирующее устройство (зажим); 12 – полупогружная доска

6. Выявить наиболее характерные зоны движения воды. В каждом сечении от I-I до VI-VI определить расчетные параметры: глубину слоя протекающей воды $h_1 = H_n$, а далее h_2, h_3, \dots, h_6 и длину характерных участков между смежными сечениями $l_{1-2}, l_{2-3}, l_{5-6}$.

Полученные результаты замеров занести в журнал измерений (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Параметры геометрических размеров натуральных замеров

Глубина проточной зоны в сечениях, см	I – I	II – II	III – III	IV – IV	V – V	VI – VI
	$h_1 =$	$h_2 =$	$h_3 =$	$h_4 =$	$h_5 =$	$h_6 =$
Длина участка, см	$l_{1-2} =$	$l_{2-3} =$	$l_{3-4} =$	$l_{4-5} =$	$l_{5-6} =$	
Объём активной зоны на расчетном участке, см ³						

Оформление работы

С целью оценки гидравлического совершенства горизонтального отстойника необходимо найти суммарный объём активных зон на каждом участке по формуле

$$W_{\text{акт.}} = V_{\text{отс.}} \cdot \left[\left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \cdot \ell_{1-2} + \left(\frac{h_3 + h_2}{2} \right) \cdot \ell_{2-3} + \dots + \left(\frac{h_5 + h_6}{2} \right) \cdot \ell_{5-6} \right]. \quad (3.4)$$

Значение $K_{\text{о.н.}}$ следует определить по формуле (3.2).

Полученное значение $K_{\text{о.н.}}$ для лабораторной модели горизонтального отстойника необходимо сравнить с нормируемой величиной по СНиП [5] и сделать заключение о соответствии полученных значений $K_{\text{о.н.}}$ рекомендациям СНиП. Оценить, насколько типовое распределительное устройство гидравлически совершенно.

Контрольные вопросы

1. Как повлияет глубина погружения распределительного устройства под уровень воды на гидравлическое совершенство отстойника?
2. Что в большей степени оказывает влияние на значение $K_{\text{о.н.}}$: распределительное или сборное устройство?
3. Как можно повысить гидравлическое совершенство отстойников?
4. В случае изменения $K_{\text{о.н.}}$, как это повлияет на работу отстойника?

Литература [3, с.68-72]; [5, с.27, табл. 31]; [9, с. 258].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.2

Определение коэффициента объёмного использования отстойной зоны при впуске воды в отстойник через распределительное устройство в виде перфорированной перегородки

Цель работы – оценить гидравлическое совершенство нового распределительного устройства перфорированного типа (по значению $K_{\text{о.н.}}$) и установить преимущество этого распределительного устройства по сравнению с типовым распределительным устройством в виде щита.

Оборудование: модель (в масштабе 1:100) установки горизонтального отстойника из органического стекла (см. рис. 3.1); распределительное устройство в виде перфорированной перегородки; краситель (чернила); стеклограф.

Краткие теоретические сведения

Из курса гидравлики известно, что установка решетки на пути потока движущейся жидкости обеспечивает равномерное распределение скоростей в площади живого сечения. Применение перфорированной перегородки в качестве распределительного устройства позволит исключить застойную зону, которая образуется при пропуске воды под щитом, и обеспечить равномерное распределение

расхода и скоростей движения воды в площади живого сечения отстойной зоны за распределительным устройством.

Порядок выполнения работы

1. Установить гидравлический режим работы модели отстойника по аналогии с лабораторной работой № 3.1.
2. Ввести краситель и выявить проточную зону отстойника (активную зону).
3. Выявить наиболее характерные зоны протекания окрашенной воды.
4. Произвести замеры глубин и длин участков, которые показаны на расчетной схеме для определения $K_{o.н.}$ отстойника с распределительным устройством перфорированного типа (см. рис. 3.2).

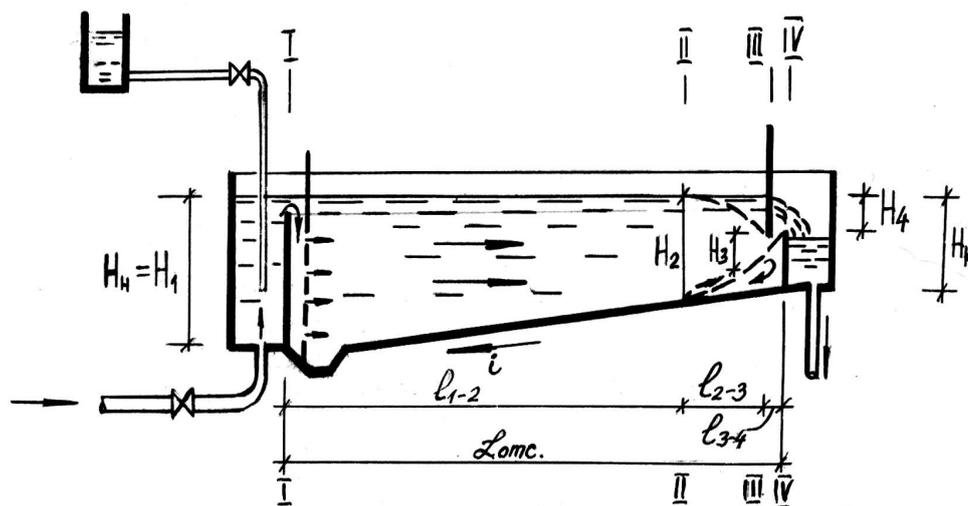


Рис. 3.2. Схема модели горизонтального отстойника с распределительным устройством перфорированного типа

5. Произвести запись полученных результатов в журнал (см. табл. 3.2) и обработать результаты исследований.

Оформление работы

Используя замеры глубин H_1, H_2, H_3, H_4 и длин участков $l_{1-2}, l_{2-3}, l_{3-4}$, вычислить объём активной зоны и по аналогии с работой № 3.1 вычислить общий объём модели отстойника:

$$W_{отс.} = V_{отс.} \cdot H_{ср.} \cdot L_{отс.} = V_{отс.} \cdot L_{отс.} \cdot \left(\frac{H_{н.} + H_{к.}}{2} \right). \quad (3.3a)$$

Объём активной зоны отстойника следует определить по формуле

$$W_{акт.зоны} = V_{отс.} \cdot \left[\left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \cdot l_{1-2} + \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) \cdot l_{2-3} + \left(\frac{h_3 + h_4}{2} \right) \cdot l_{3-4} \right]. \quad (3.4a)$$

Значение $K_{o.н.}$ определяется по зависимости (3.2).

В выводах вскрыть преимущество или недостаток нового распределительного устройства перед типовым устройством впуска воды в отстойник, установить

влияние распределительного устройства на степень осветления сточных вод и ответить письменно на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. По какому показателю можно судить о гидравлическом совершенстве отстойных сооружений? И почему?
2. Как влияет распределительное устройство на $K_{0.1}$, а также на производительность сооружения и степень очистки воды?
3. Каким требованиям должны удовлетворять распределительные и сборные устройства в отстойнике?
4. Какими должны быть конструкции распределительных и сборных устройств, чтобы обеспечить оптимальные условия работы?

Литература [3, с.68-72]; [5, с.27, табл. 31]; [9, с. 258].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.3

Определение кинетики осаждения взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах в состоянии покоя

Цель работы – выявить влияние гравитационной коагуляции на закономерность осветления воды в состоянии покоя при различной высоте отстойного сооружения.

Оборудование: цилиндр из органического стекла; вакуум-насос с электроприводом; вакуумметр; ресивер объёмом около 0.02 м³; резиновые соединительные шланги; бак для хранения сточной жидкости объёмом около 20 л; мерные колбы для отбора проб.

Краткие теоретические сведения

Содержащиеся в сточных водах взвешенные вещества обладают различными изменяющимися свойствами (величиной, формой и удельным весом). Учесть влияние свойств взвесей на осветление воды можно лишь по данным технологического моделирования – отстаивания сточных вод в состоянии покоя [3].

При этом строится график зависимости эффекта осветления воды \mathcal{E} от продолжительности t отстаивания, т.е. $\mathcal{E}=f(t)$ – кривая кинетики осаждения взвешенных веществ. Эта зависимость может быть представлена графически в виде кривой эффекта осветления воды от условной гидравлической крупности:

$$U = \frac{h}{t}, \quad \text{т.е.} \quad \mathcal{E} = f(U),$$

где h – высота столба воды; t – продолжительность осветления воды.

Ранее предполагалось, что равные эффекты осветления сточных вод достигаются в сосудах разной глубины за различное время, но при равных значениях условной гидравлической крупности (седиментационное подобие), т.е. при

$$\frac{h_1}{t_1} = \frac{h_2}{t_2}. \quad (3.5)$$

Это позволяло на основании данных осветления воды в покое, полученных в сосуде малой высоты h_1 , рассчитать время t_2 осветления воды в сосуде высотой h_2 , равной высоте отстойника. Это время необходимо для достижения эффекта осветления воды, равного тому, который имел место в сосуде малой высоты h_1 при времени осветления t_1 .

Взвешенные вещества, содержащиеся в сточных водах, представляют собой неустойчивую коагулирующуюся взвесь. Для неё седиментационное подобие формулы (3.5) не справедливо (рис.3.3). Впервые это установил А.И. Жуков. По его исследованиям условие подобия формулы (3.5) справедливо при введении коэффициента пропорциональности K :

$$\frac{h_1}{t_1} = K \frac{h_2}{t_2}. \quad (3.5a)$$

По исследованиям А.И. Жукова коэффициент K зависит от отношения h_2/h_1 , для случаев, когда $h_2/h_1=2\div 4$, коэффициент соответственно равен $K=2\div 1.4$. Но эти данные не нашли подтверждения в условиях эксплуатации.

Дальнейшие исследования выявили зависимость седиментационного подобия, которая имеет вид:

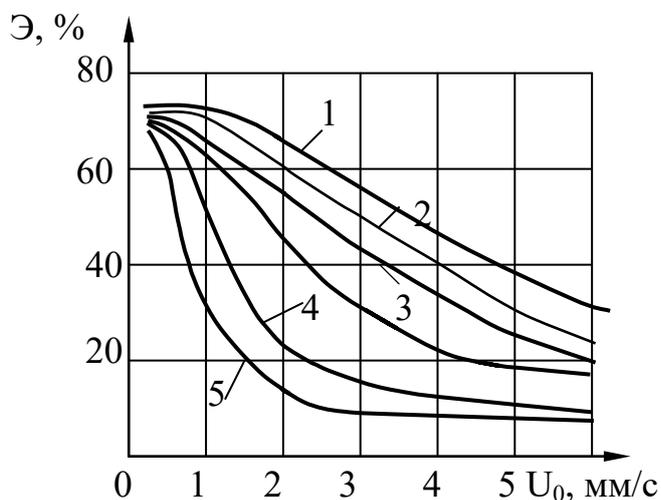


Рис. 3.3. График зависимости Э от U для $K_0 = 200$ мг/л при разной высоте цилиндров h:

1 – 5 м; 2 – 4 м;
3 – 3 м; 4 – 2 м;
5 – 1 м; 6 – 0,5 м

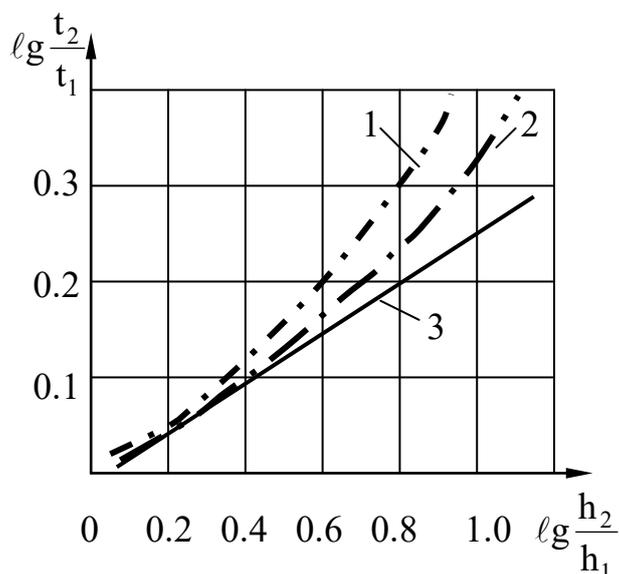


Рис.3.4. График зависимости

$$\lg \frac{t_2}{t_1} = f\left(\lg \frac{h_2}{h_1}\right) \text{ при раз-}$$

личной концентрации взвешенных веществ:

1 - $K=500$ мг/л; 2 - $K=400$ мг/л;
3 - $K=200 \div 300$ мг/л

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n. \quad (3.6)$$

На рис. 3.4 представлены опытные данные в зависимости

$$\lg \frac{t_2}{t_1} = f \left(\lg \frac{h_2}{h_1} \right).$$

Из графика видно, что для городских сточных вод седиментационное подобие формулы (3.6) справедливо при концентрации взвешенных веществ от 50 до 400 мг/л и показателе степени $n=0,25$.

Задача технологического моделирования состоит в определении параметров, необходимых для построения кривой кинетики осаждения взвешенных веществ в сосуде, глубина которого равна глубине отстойника. Для этого достаточно из опытов получить кривую кинетики осаждения взвешенных веществ в сосуде любой высоты и показатель степени n в уравнении (3.6).

Методика технологического моделирования осветления сточных вод должна быть основана на установленной общей математической зависимости эффекта осветления сточных вод при различных влияющих факторах, отражать современное представление о кинетике осаждения взвесей и отличаться простотой проведения опыта.

Для сточных вод любого состава и свойств зависимость эффекта осветления сточных вод от основных влияющих факторов имеет вид:

$$\mathcal{E}_t = \left(\frac{t}{t_{oc}} \right)^{\frac{a}{t}} \cdot \mathcal{E}_{oc} \%, \quad (3.7)$$

$$\mathcal{E}_{oc} = \mathcal{E}_{120} = \frac{K_0 - K_{120}}{K_0} \cdot 100, \quad \%, \quad (3.8)$$

где a – коэффициент, зависящий от начальной концентрации взвешенных веществ – K_0 в воде и высоты столба воды – H (глубины отстойной зоны). Для осветления городских сточных вод значение величины « a » можно считать по формуле

$$a = 0.004 \cdot K_0 + 0.62 \cdot H;$$

$\mathcal{E}_{oc} = \mathcal{E}_{120}$ – содержание оседающих веществ в сточной воде, %, при продолжительности осветления $t_{oc}=120$ мин.

Удобство формулы (3.7) заключается в том, что неизвестной является только одна величина a . Содержание оседающих веществ – \mathcal{E}_{oc} обычно определяется при всех технологических анализах состава сточных вод. Таким образом, для получения зависимости эффекта осветления сточной воды от продолжительности отстаивания (при прочих равных условиях) достаточно в уравнении (3.7) экспериментально определить лишь значение параметра a . Использование полученной формулы (3.7) позволяет значительно упростить методику технологического моделирования и сократить до минимума измерения.

Следует иметь в виду, что определение \mathcal{E}_{oc} должно производиться в цилиндре диаметром не менее 120 мм. Продолжительность осветления t_{oc} принимается равной 120 мин.

Порядок выполнения работы

1. В рабочей тетради вычертить схему установки (рис. 3.5).

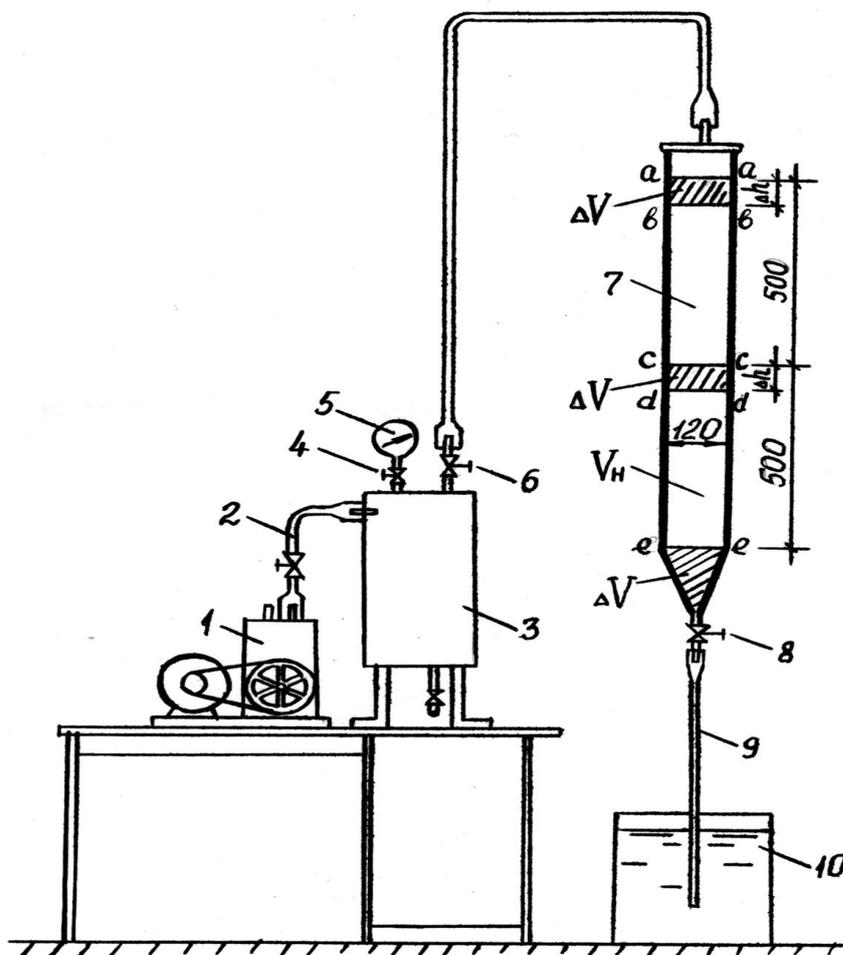


Рис. 3.5. Схема опытной установки:

- 1- вакуум-насос;
- 2, 6, 8 – краны;
- 3 – ресивер;
- 4 – трёхходовой кран;
- 5 – вакуумметр;
- 7 – цилиндр – отстойник;
- 9 – шланг;
- 10 – бак для хранения исследуемой воды

2. Наполнить водой сосуд 10 (для анализа) объёмом около 20 л. Из этого объёма отобрать пробу для определения начального содержания взвешенных веществ K_0 . Затем взять пробу для определения оседающих веществ \mathcal{E}_{oc} .

3. С помощью вакуум-насоса 1 в установке создать вакуум, равный 500-600 мм.рт.ст. Цилиндр-отстойник 7 заполнить анализируемой водой из сосуда 10 через открытый кран 8. В момент подъёма воды до уровня $a-a$ кран 8 закрыть, а трёхходовой кран 4 повернуть в положение, отключающее вакуумметр 5 и соединяющее ресивер 3 с атмосферой (в установке снимается вакуум). В этот момент необходимо зафиксировать время начала осветления воды.

4. По истечении 30 мин осветления воды через кран 8 спустить объём воды $\Delta V = 800 \text{ см}^3$. При этом уровень воды в цилиндре понизится до сечения $b-b$. Вслед за этим выпустить объём воды $V_n = 5.64 \text{ л}$ (столб воды высотой $h = 0.5 \text{ м}$). При этом уровень воды в цилиндре снизится до сечения $d-d$. И затем выпустить из цилиндра оставшуюся воду объёмом $V_b = 5.64 \text{ л}$.

Все три объёма воды спускать в разные ёмкости. Общее время отбора всех трёх проб не должно превышать 30 с.

1. В объёме воды $\Delta V=800 \text{ см}^3$ определить содержание взвешенных веществ G , а в объёме V_n и V_b – концентрацию взвешенных веществ K_n и K_b .
2. Определить величины a_{50} и a_{100} (для высоты столба воды $h_1=50 \text{ см}$ и $h_2=100 \text{ см}$). Для построения двух кривых кинетики осаждения взвешенных веществ при высоте цилиндров $h_1=0.5 \text{ м}$ и $h_2=1 \text{ м}$ необходимо определить значения a для двух высот столба воды. Кривые можно использовать для определения показателей степени n в формуле (3.5).

Оформление работы

Эффект осветления нижнего столба воды высотой 50 см определяется по формуле

$$\mathcal{E}_n = \frac{K_0 - K_n}{K_0} \cdot 100 \quad \%,$$

эффект осветления верхнего столба по формуле

$$\mathcal{E}_b = \frac{K_0 - K_b}{K_0} \cdot 100 \quad \%.$$

Эффект осветления столба воды высотой 100 см после отстаивания её в течение 30 мин определяется как среднеарифметическое значение полученных эффектов:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = \frac{\mathcal{E}_b + \mathcal{E}_n}{2}.$$

Эта величина может быть проверена по формулам

$$K_{\text{ср.}} = \frac{2VK_0 - (G - \Delta VK)}{2V}; \quad \mathcal{E}'_{\text{ср.}} = \frac{K_0 - K_{\text{ср.}}}{K_0} \cdot 100 \quad \%.$$

Параметр a в формуле (3.7) при осветлении столба воды высотой 50 см определяется по формуле

$$a_{50} = \frac{\lg \frac{\mathcal{E}_b}{\mathcal{E}_{\text{ср.}}}}{\frac{1}{t} \lg \frac{t}{t_{\text{ос}}}} = \frac{\lg(\mathcal{E}_b / \mathcal{E}_{\text{ср.}})}{0,033 \lg(30 / t_{\text{ос}})},$$

а при осветлении столба воды высотой 100 см по формуле

$$a_{100} = \frac{\lg(\mathcal{E}_{\text{ср.}} / \mathcal{E}_{\text{ос}})}{0,033 \lg(30 / t_{\text{ос}})}.$$

Результаты вычислений a_{50} и a_{100} занести в табл. 3.3.

3. По формуле (3.7) и полученным значениям a_{50} и a_{100} построить графики кинетики осаждения взвешенных веществ из сточных вод при глубине столба воды $h_1=50 \text{ см}$ и $h_2=100 \text{ см}$ (рис. 3.5). Для этого необходимо принять несколько

значений t для интервала времени t_1 от 60 до 120 мин и при значениях a_{50} и a_{100} получим кривые 1, 2 (рис. 3.6).

Таблица 3.3

Результаты опытов и расчётные значения a_{50} и a_{100}

Номер опыта	Концентрация взвесей, мг/л			Эффект осветления воды, %			Значения коэффициентов	
	K_0	K_B	K_H	\mathcal{E}_B	\mathcal{E}_H	$\mathcal{E}_{cp.}$	a_{50}	a_{100}
1								
2								
n								

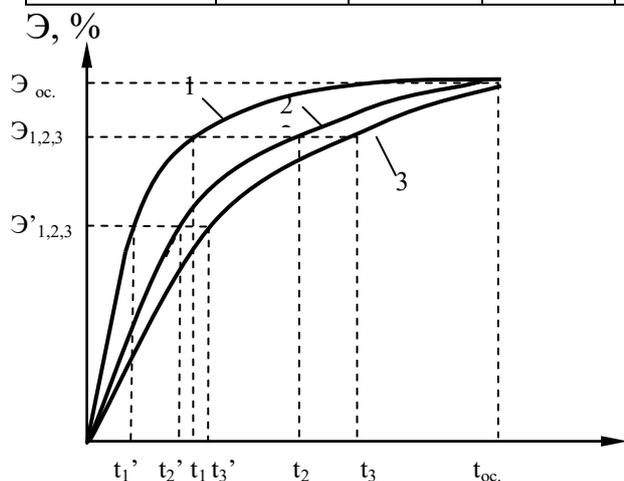


Рис. 3.6. Кривые кинетики осветления воды: 1 – при $h_1=50$ см; 2 – при $h_2=100$ см; 3 – при глубине h_2 , равной глубине отстойника

Затем при нескольких разных значениях эффекта осветления воды вычислить показатели степени n по формуле

$$n = \frac{\lg(t_2/t_1)}{\lg(h_2/h_1)} = \frac{\lg(t_2/t_1)}{\lg(100/50)} = 3.33 \lg \frac{t_2}{t_1},$$

где t_1 и t_2 – время осветления воды определяется по графику (рис. 3.6) для сосудов глубиной $h_1=50$ см и $h_2=100$ см (при одинаковых эффектах осветления воды).

Для последующих расчётов принимается среднеарифметическое значение показателя n из нескольких вычисленных (табл. 3.4).

Время осветления воды в сосуде глубиной h_3 , равной глубине проектируемого отстойника, в котором эффект осветления воды будет такой же, как и в сосуде глубиной h_1 , определяется по формуле

$$t_3 = t_1 \cdot \left(\frac{h_3}{h_1} \right)^n.$$

Таблица 3.4

Результаты вычислений при определении степени n

Эффект \mathcal{E} , %	Время, мин		$\lg(t_2/t_1)$	n	Примечание
	t_1	t_2			
20					
30					
40					
50					

По данным нескольких значений t_3 , вычисленных при разных значениях \mathcal{E} , построить кривую - 3 кинетики осаднения взвесей при глубине воды, равной глубине проектируемого отстойника (табл. 3.5) – h_3 .

Результаты вычислений для построения кривой кинетики осаждения взвесей при глубине отстойника h_3

Эффект Э, %	t_1 , мин	h_3/h_1	$n \lg\left(\frac{h_3}{h_1}\right)$	$\left(\frac{h_3}{h_1}\right)^n$	t_3 , мин	Примечание
20						
30						
40						
50						

Построить график кинетики осветления сточных вод в состоянии покоя при глубине проектируемого отстойника (например $H=3$ м).

В выводах по лабораторной работе необходимо оценить влияние глубины отстойника на эффект и время осветления, а также исходной концентрации взвешенных веществ.

Контрольные вопросы

1. Почему при проектировании рабочих отстойников целесообразно использовать технологическое моделирование осветления воды в состоянии покоя?
2. Почему для достижения более высокого эффекта осветления сточных вод требуется большая продолжительность отстаивания воды?
3. Можно ли результаты лабораторных исследований полностью переносить на рабочие отстойники?
4. В каком случае, в покое или в рабочем отстойнике, за одно и то же время будет достигнут более высокий эффект осветления?
5. Какие свойства воды могут повлиять на результат осветления?

Литература [3, с.63-68]; [9, с. 236].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.4

Оценка работы вертикального отстойника

Цель работы – установить оптимальные (наилучшие) условия течения воды в восходящем потоке, а также глубину и продолжительность пребывания воды в отстойнике.

Оборудование: модель установки вертикального отстойника, баки для сточной воды и измерения расхода, пропеллерная мешалка с электродвигателем; насос. Электрокалориметр для измерения концентрации взвешенных веществ. Мерные цилиндры для отбора проб.

Краткие теоретические сведения

В вертикальных отстойниках эффект очистки сточных вод зависит от времени отстаивания, от гидравлического режима движения в нём жидкости. Гидравлический режим (в свою очередь) зависит от конструктивных особенностей сооружения и количества поступающей воды.

При создании модели вертикального отстойника соблюдены следующие технологические параметры:

$$t_M = \frac{t_H}{\sqrt{M}}; \quad F_{r_M} = F_{r_H},$$

где t_M и t_H – время осветления воды соответственно в модели и в рабочем (натурном) сооружении; M – масштаб модели; F_{r_M} и F_{r_H} – значение величины Фруда соответственно для модели и натурального отстойника.

При создании модели вертикального отстойника, для получения максимально объективных данных по эффекту осветления воды в натуральных отстойниках, в качестве главного фактора принято время протекания воды в отстойной зоне. Условие подобия может быть выполнено, если скорость движения воды в модели v_M будет равна скорости прохождения воды в натурном отстойнике - v_H , т.е. при условии $v_M = v_H$. Для получения достоверных данных при соблюдении $v_M = v_H$ и $t_M = t_H$ высота модели H_M принята равной значению натурального сооружения отстойника H_H , т.е. $H_M = H_H$.

Порядок выполнения работы

Для визуального наблюдения за процессом осветления сточных вод модель отстойника выполнена из стеклянной трубы с конической частью из органического стекла диаметром $d_M \geq 0.15$ м. Схема лабораторной модели вертикального отстойника приведена на рис. 3.7.

Рабочая высота модели отстойника 1 равна $H_M = H_H = 3.8$ м. Высоту отстойника 1 можно изменять в широком диапазоне за счёт изменения длины вертикальной центральной трубы 9. С целью определения расхода и скорости восходящего потока $v_M = v_H$ используется мерный бак 15, который включается в работу перед началом опыта. Выбор расчётного расхода достигается путём возврата воды, подающейся после насоса 6 от трубопровода 7 через трубопровод 16 в бак 2. После выбора режима работы отстойника осветлённая вода отводится в бак 2 по трубопроводу 13, минуя мерный бак 15.

Бак 2 для сточной воды принят по объёму больше объёма отстойника на 40-50 %. При этом условии поступление осветлённой воды по трубопроводу 13 и наполнение взвеси в течение некоторого времени в конусе 11 мало повлияет на изменение концентрации взвешенных веществ в баке 2.

Для меньшего изменения концентрации взвешенных веществ в баке 2 отвод осадка из цилиндра 11 следует проводить с интервалом 15-20 мин малыми порциями.

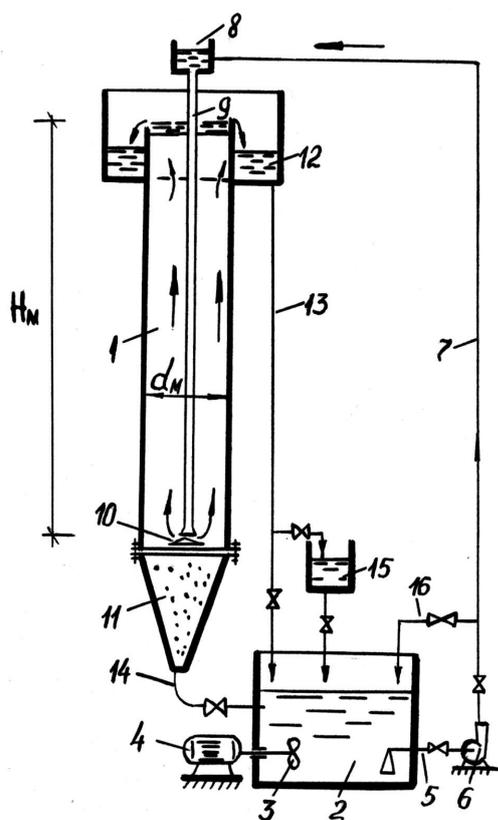


Рис. 3.7. Схема модельной установки:

- 1 – отстойник;
- 2 – бак для накопления сточной воды;
- 3 – пропеллерная мешалка;
- 4 – электропривод;
- 5 – всасывающий трубопровод;
- 6 – циркуляционный насос;
- 7 – напорный трубопровод;
- 8 – приёмная камера;
- 9 – вертикальная центральная труба;
- 10 – отражательный диск;
- 11 – конус для сбора выпавшего осадка;
- 12 – кольцевой периферийный лоток;
- 13 – отвод осветлённой воды;
- 14 – выпуск осадка;
- 15 – мерный бак;
- 16 – циркуляционный трубопровод

Первоначально следует определить нужный расход воды для подачи на осветление по формуле, м³/ч:

$$q_M = \omega_M \cdot v_H, \quad (3.9)$$

где ω_M – площадь живого сечения отстойника, м², v_H – скорость потока воды, м/ч.

Теоретическую продолжительность пребывания воды в зоне осветления следует находить по формуле, ч:

$$t_M = \frac{H_M \cdot \omega_M}{3600 \cdot q_M}, \quad (3.10)$$

здесь $H_M = H_H$ – глубина отстойной зоны, м.

Определив q_M и t_M , приступить к выполнению работы.

1. Включить пропеллерную мешалку и произвести перемешивание сточной воды в накопительном баке 2.

2. Затем включить насос 6 и через трубопровод 7, приёмную камеру 8 и вертикальную центральную трубу 9 заполнить отстойник 1 сточной водой.

3. Первые порции осветлённой воды из кольцевого периферийного лотка 12 по трубопроводу 13 направить в мерный бак 15.

4. После измерения поступающего расхода произвести корректировку расхода, подаваемого на модель. Если начальный расход $q_{нач.} < q_M$, то на трубопроводе 5 открыть регулирующий вентиль. Регулирование осуществляется до тех пор, пока будет достигнуто условие $q = q_M$. Если же расход воды, поступающей в отстойник 1 будет больше расчётного модельного $q > q_M$, то избыточный расход воды отвести по трубопроводу 16 в бак 2 для достижения условия $q = q_M$. Считается, что модельная установка готова к работе при заданных гидравлических условиях.

5. При выводе модельной установки на расчётный режим из камеры 8 отобрать пробу поступающей воды в отстойник и одновременно зафиксировать время начала расчётного режима осветления воды.

6. Далее через время, равное продолжительности отстаивания t_m , произвести отбор пробы осветлённой воды из трубопровода 13. Для большей достоверности результата необходимо отбирать не менее трёх проб как поступающей на осветление воды, так и осветлённой. Интервал между отборами проб поступающей и осветлённой воды должен составлять 5-10 мин, а замер концентрации взвешенных веществ в поступающей и осветлённой воде должен соответствовать времени t_m .

Концентрацию взвешенных веществ следует определить по типовой методике или при помощи электрокалориметра.

7. Результаты исследований занести в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Исследуемые параметры и результаты расчёта

Номер опыта	Время осветления воды в часах											
	$t_{m(1)}=$				$t_{m(2)}=$				$t_{m(3)}=$			
	$q_{м},$ М/ч	$K_{п,3}$ Г/М	$K_{в,3}$ Г/М	$\mathcal{E}^{(1)},$ %	$q_{м},$ М/ч	$K_{п,3}$ Г/М	$K_{в,3}$ Г/М	$\mathcal{E}^{(2)},$ %	$q_{м},$ М/ч	$K_{п,3}$ Г/М	$K_{в,3}$ Г/М	$\mathcal{E}^{(3)},$ %
1												
2												
3												
среднее												

Примечание: по отдельным сериям опытов желательно проводить анализ работы модели с различными скоростями (например, при $v_m = 0,3$ мм/с или 1,08 м/ч; $v_m = 0,5$ мм/с или 1,8 м/ч; $v_m = 0,7$ мм/с или 2,52 м/ч; $v_m = 1$ мм/с или 3,6 м/ч), а также с разной глубиной зоны отстаивания, т.е. H равное: 3,8; 3,5; 3 и 2,5 м

Оформление работы

Эффект осветления воды определяем по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{K_{п} - K_{в}}{K_{п}} \cdot 100 \quad \% \quad (3.11)$$

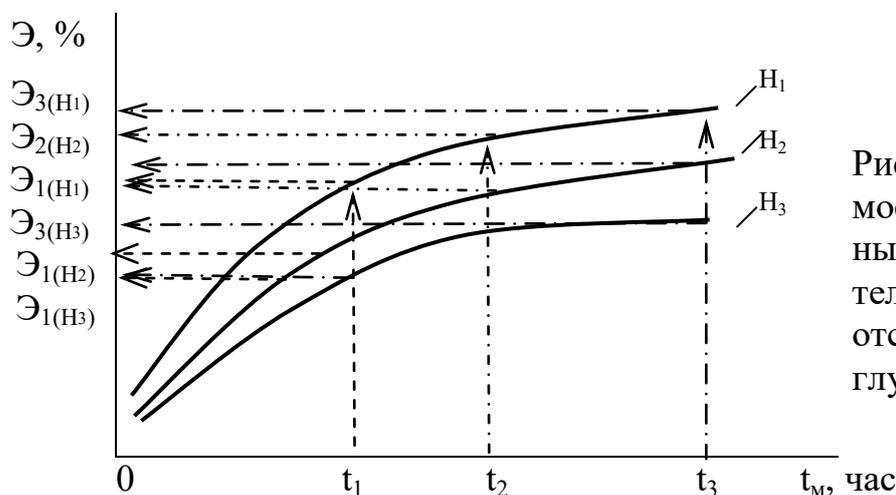


Рис. 3.8. График зависимости осветления сточных вод от продолжительности осветления в отстойниках различной глубины

Найденные значения концентрации взвешенных веществ в поступающей K_n и выходящей осветленной K_b воде, занести в табл.3.6.

По результатам исследований построить график зависимости $\Xi=f(t_m)$ при $v=\text{const}$ и $H \neq \text{const}$ (см. рис. 3.8).

В выводах по лабораторной работе отразить установленные оптимальные (или наилучшие) условия течения воды в восходящем потоке, а также глубину и продолжительность пребывания воды в отстойнике.

Контрольные вопросы

1. Считаете ли вы рациональным процессом условие осветления воды в вертикальных отстойниках с восходящим потоком осветляемой жидкости?
2. За счёт каких конструктивных элементов, внесённых в устройство вертикальных отстойников, при равной продолжительности отстаивания, можно добиться более высокого эффекта их работы? Дать обоснование.
3. Как скорость восходящего потока и глубина отстойной зоны влияют на эффект осветления воды в отстойнике?

Литература [3, с.73-76]; [9, с. 237].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.5

Изучение работы тонкослойного отстойника

Цель работы – выявить преимущество тонкослойных отстойников по сравнению с другими типами отстойных сооружений (например горизонтальных, вертикальных) как по объёму сооружений, так и по продолжительности осветления для обеспечения равных эффектов очистки.

Оборудование: Модель установки отстойника полочного типа (см. рис. 3.9).

Краткие теоретические сведения

Реальные наблюдения за работой натуральных отстойников показали, что процесс осветления воды со взвешенными веществами происходит в непрерывно движущемся потоке при турбулентном режиме.

Турбулентное движение сточной воды тормозит оседание взвешенных веществ, т.к. при турбулентном режиме в жидкости имеет место турбулентная пульсация потока. Наличие вертикальной турбулентной составляющей потока, направленной вверх от оси потока навстречу оседающим частицам взвеси, фактически снижает скорость оседания взвеси по сравнению с их скоростью в состоянии покоя.

Эффект осветления сточных вод может оказаться значительно выше, если вместо турбулентного режима движения жидкости обеспечить ламинарное их движение. Этого можно достичь, если весь рабочий объём отстойника разделить полками на тонкие слои.

Тонкослойные отстойники по схеме движения воды и осадка следует разделить на три типа:

- 1 – с перекрестной схемой;
- 2 – с противоточной схемой;
- 3 – с прямоточной схемой.

При перекрёстной схеме работы тонкослойных отстойников выделенный из воды осадок движется перпендикулярно к движению осветляемого потока.

При противоточной схеме – выпадающий осадок удаляется в направлении против движения осветляемого потока воды.

При прямоточной схеме – выпадающий осадок отводится в направлении, совпадающем с направлением движения осветляемой сточной воды.

Наиболее рациональной конструкцией тонкослойного отстойника является схема работы отстойника с перекрестным движением осадка и воды. Однако при реконструкции существующих отстойников наиболее часто используют схему работы тонкослойного отстойника с противоточным движением осадка и воды.

Угол наклона полок к горизонту следует принимать в зависимости от угла сползания осадка. На практике угол наклона полок к горизонту принимают $\alpha=45-60^0$ навстречу потоку жидкости. Высоту полочного пространства H целесообразно принимать не более 1-2 м, а высоту яруса от 50 до 150 мм.

Скорость движения воды в межполочном пространстве для обеспечения ламинарного движения сточной воды следует определять по формуле

$$v_{\text{пол.}} = \frac{Re \cdot \chi \cdot v}{\omega_{\text{яр.}}}, \quad (3.12)$$

где $Re = \frac{v_{\text{пол.}} \cdot R_{\text{яр.}}}{\nu}$ - число Рейнольдса, которое следует принимать в расчётах меньше критического значения, т.е. $Re \leq 500$;

$\omega_{\text{яр.}} = \frac{B \cdot h_{\text{яр.}}}{\cos \alpha}$ - площадь живого сечения яруса; $h_{\text{яр.}}$ – высота яруса;

$R_{\text{яр.}} = \frac{\omega_{\text{яр.}}}{\chi}$ - гидравлический радиус яруса; χ – смоченный периметр яруса, $\chi = 2(B + h_{\text{яр.}}) \cdot \ell$;

B – ширина отстойника (полочного); ν - кинематический коэффициент вязкости сточной воды; ℓ – длина полочного пространства тонкослойного отстойника, которая определяется по формуле

$$\ell = K_3 \cdot t \cdot v_{\text{пол.}}, \quad (3.13)$$

где K_3 – коэффициент запаса, который учитывает не полное использование объёма проточной зоны тонкослойного отстойника за счёт выпавшего осадка ($K_3=1,3 \div 1,5$); t – время осветления воды в тонкослойном отстойнике для улавливания нерастворённых частиц заданного размера, для достижения требуемого эффекта осветления, можно определить по формуле, ч:

$$t = \frac{h_{\text{яр.}}}{U_0 \cdot \cos \alpha \cdot 3600}, \quad (3.14)$$

здесь U_0 – гидравлическая крупность частиц оседающей взвеси для обеспечения требуемого эффекта осветления воды, мм/с.

Порядок выполнения работы

1. В рабочей тетради вычертить схему модели тонкослойного отстойника, которая выполнена из органического стекла с шириной полки 150 мм и высотой яруса 50 мм (для визуального наблюдения и наглядности движения сточных вод, а также сползания и отвода осадка).

Рабочая высота полочного пространства принята равной 0,8 м.

С целью регулирования рабочего расхода сточной воды в установке предусмотрено измерительное устройство 3, размещенное в баке 2.

2. Расчётный расход выбирать за счёт частичного возврата воды в бак 2 через трубопровод 8.

3. Объём бака 2 для сточной воды определять по тем же условиям, что и в лабораторной работе № 3.4.

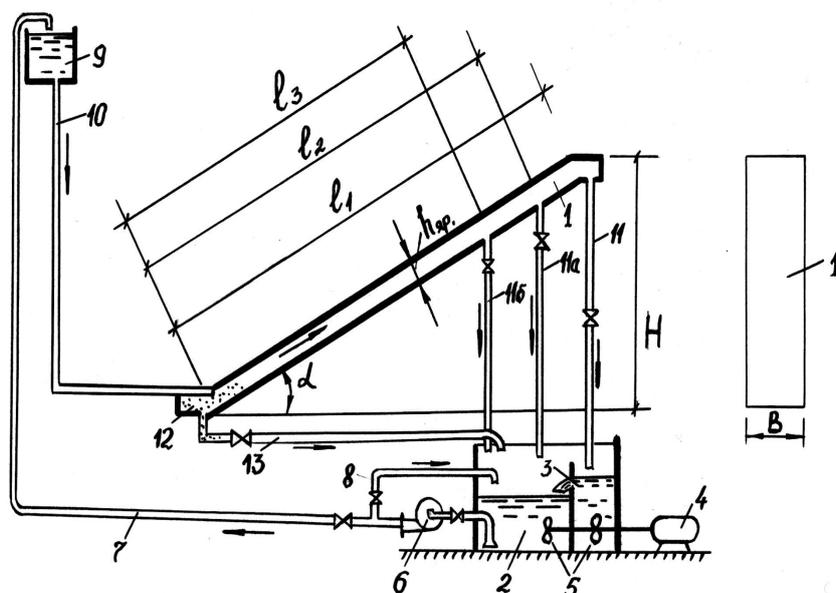


Рис. 3.9. Модельная установка отстойника полочного типа:

- 1 – тонкослойный (полочный) отстойник;
- 2 – бак для накопления сточной воды; 3 – измерительный водослив;
- 4 – электродвигатель; 5 – пропеллерные мешалки; 6 – насос;
- 7 – напорный трубопровод; 8 – циркуляционный трубопровод;
- 9 – приёмная камера; 10 – трубопровод подачи рабочего расхода сточных вод;
- 11, 11а, 11б – трубопроводы осветлённой воды;
- 12 – накопитель осадка; 13 – возврат осадка в бак

4. Определить допустимую скорость движения сточной воды в тонкослойном (полочном) отстойнике по формуле (3.12), чтобы обеспечить ламинарный режим течения жидкости в отстойной зоне.

5. Определить время пребывания сточной воды в тонкослойном отстойнике из формулы (3.13), т.е.

$$t = \ell / (K_3 \cdot v_{\text{пол.}})$$

6. Найти расчётный расход сточных вод, который должен поступать в отстойник:

$$q_M = \omega_{\text{яр.}} \cdot v_{\text{пол.}} \quad (3.15)$$

7. После определения основных технологических параметров ($v_{\text{пол.}}$, t и q_M) уточнить значение величины гидравлической крупности частиц, которые должны быть задержаны в отстойнике. Для этого можно воспользоваться формулой (3.14):

$$U_0 = \frac{h_{\text{яр.}}}{t \cdot \cos \alpha} \quad (3.16)$$

8. Включение модельной установки тонкослойного отстойника выполнять по аналогии с методикой включения установки с вертикальным отстойником, описанной в лабораторной работе № 3.4.

Размеры параметров H , $h_{\text{яр.}}$ и α следует подбирать с учётом свойств сточной воды.

Для обеспечения различной продолжительности осветления воды при постоянной скорости её движения, необходимо изменять длину полочного отстойника путём отведения осветлённой воды по трубопроводам 11, 11а и 11б.

9. Полученные результаты занести в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Но- мер опыта	Время осветления воды в часах											
	$t_{M(1)} =$				$t_{M(2)} =$				$t_{M(3)} =$			
	$U_{0(1)}$	$K_{\text{п}},$ мг/л	$K_{\text{в}},$ мг/л	$\mathcal{E},$ %	$U_{0(2)}$	$K_{\text{п}},$ мг/л	$K_{\text{в}},$ мг/л	$\mathcal{E},$ %	$U_{0(3)}$	$K_{\text{п}},$ мг/л	$K_{\text{в}},$ мг/л	$\mathcal{E},$ %
1												
2												
3												

Оформление работы

Концентрацию взвешенных веществ как в поступающей $K_{\text{п}}$, так и в выходящей воде $K_{\text{в}}$ следует определять приборным способом по традиционной методике.

Эффект осветления воды необходимо определять по известной зависимости

$$\mathcal{E} = \frac{K_{\text{п}} - K_{\text{в}}}{K_{\text{п}}} \cdot 100 \quad \%$$

Количество опытов для определения эффектов осветления должно быть не менее трех при каждой продолжительности осветления воды.

По результатам обработки опытных данных построить графики зависимости $\mathcal{E} = f(t)$ и $\mathcal{E} = f(U_0)$ при определённых значениях длины отстойной зоны ℓ , т.е. ℓ_1, ℓ_2 и ℓ_3 (см. рис. 3.10 и рис. 3.11)

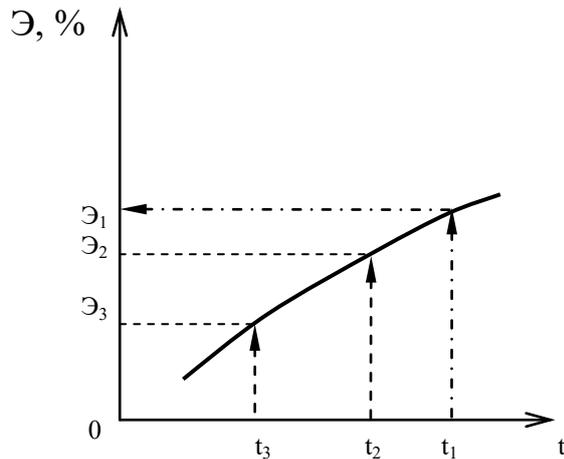


Рис. 3.10. Зависимость эффекта осветления сточной воды при постоянной скорости её движения и длине отстойной зоны

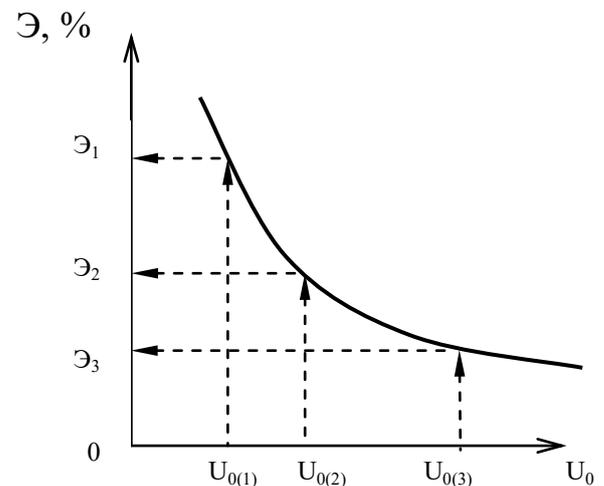


Рис. 3.11. Зависимость эффекта осветления воды от величины гидравлической крупности частиц

В тех случаях, когда имеются данные о значениях U_0 для нерастворённых частиц, выделение которых обеспечивает требуемый эффект осветления сточной воды, по формуле (3.14) вычислим требуемое время осветления воды t .

Сравнить значения t с опытными данными, оценить эффективность (КПД) использования тонкослойных отстойников для осветления воды по сравнению с другими типами отстойных сооружений.

Сделать выводы и ответить письменно на контрольные вопросы.

В выводах по лабораторной работе отразить закономерность между гидравлической крупностью для достижения требуемого эффекта осветления сточных вод, геометрическими и технологическими параметрами.

Контрольные вопросы

1. Почему в тонкослойных отстойниках при равной продолжительности отстаивания воды по сравнению с другими типами отстойников достигается более высокий эффект удаления взвешенных веществ?
2. Как влияют геометрические параметры полочного отстойника на изменение эффекта осветления воды?
3. Какой из технологических параметров оказывает большее влияние на степень осветления сточных вод.

Литература [3, с.76-80]; [9, с. 253-255].

ТЕМА 4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Технологический процесс биологической очистки сточных вод играет основную роль в общем комплексе сооружений очистной станции, т.к. в процессе биологической очистки сточная вода очищается от большинства органических веществ как нерастворённых, так и растворённых. Поэтому от степени удаления ор-

ганических загрязнений из воды во многом будет зависеть защита водоёмов от загрязнения их сточными водами.

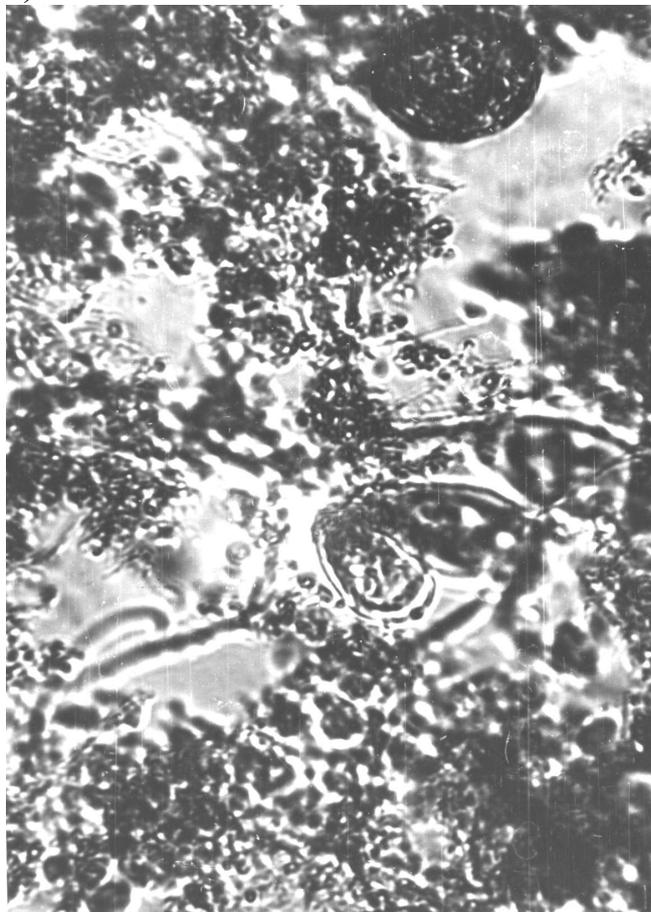
Процесс биологической очистки сточных вод происходит за счёт жизнедеятельности сложного сообщества микроорганизмов, т.е. бактерий, простейших и ряда высших организмов, в условиях аэрации воды и насыщения её растворённым кислородом атмосферного воздуха.

Для очистки городских сточных вод в нашей стране и за рубежом широкое применение получили аэротенки, в которых роль окислителей органических веществ выполняет активный ил.

Активный ил представляет собой биоценоз зооглейных скоплений бактерий и простейших организмов. При увеличении до 30 тыс. раз в микроскоп можно наблюдать структуру активного ила (см. рис. 4.1).

Качество активного ила во многом зависит от полноты предварительного осветления воды в первичных отстойниках, т.е. от концентрации загрязнений в воде органических и минеральных веществ, степени окисления их в аэротенках за счёт различной продолжительности аэрации, интенсивности насыщения воды кислородом атмосферного воздуха, нагрузки загрязнений на активный ил и других технологических условий.

а)



б)

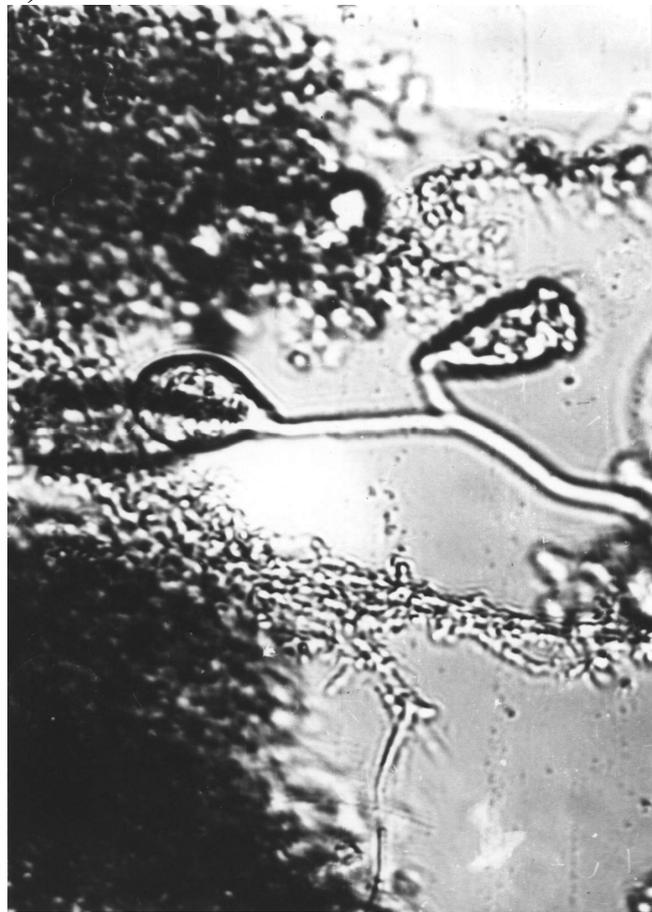


Рис. 4.1. Структура активного ила:
а – из регенератора; б – из зоны аэрации аэротенка

Контроль за работой аэротенков ведут по основным показателям, к числу которых относятся: нагрузка на ил по взвешенным веществам и по БПК₅; возраст ила в сутках; ОМ (окислительная мощность) аэротенка; скорость окисления органических загрязнений; скорость оседания ила или иловый индекс.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.1

Оценка наиболее характерных технологических параметров аэротенка

Цель работы – выявить основные технологические параметры и возможные отклонения их от оптимальных условий в процессе работы аэротенков.

Оборудование: компрессор с электроприводом, ресивер, бак со сточной водой, пропеллерная мешалка, установка модели аэротенка и вторичного отстойника (рис. 4.2).

Краткие теоретические сведения

Нагрузка на активный ил определяется как отношение массы загрязнений к массе активного ила:

а) по взвешенным веществам, мг/(г·сут):

$$q_{\text{ил.вз.}} = \frac{K_{\text{в}} \cdot Q_{\text{в}}}{V \cdot a_{\text{аэр.}} \cdot (1 - Z_{\text{и}})} = \frac{K_{\text{в}} \cdot Q_{\text{ч}} \cdot 24}{Q_{\text{ч}} \cdot t_{\text{аэр.}} \cdot (1 + R_{\text{и}}) \cdot a_{\text{аэр.}} \cdot (1 - Z_{\text{и}})} = \frac{K_{\text{в}} \cdot 24}{t_{\text{аэр.}} \cdot (1 + R_{\text{и}}) \cdot a_{\text{аэр.}} \cdot (1 - Z_{\text{и}})}, \quad (4.1)$$

где $K_{\text{в}}$ – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистку в аэротенк, мг/л; V – объём аэротенка, м³;

$Q_{\text{в}}$ – количество очищаемых сточных вод, м³/сут;

$a_{\text{аэр.}}$ – доза ила по сухому веществу в аэротенке, г/л;

$Z_{\text{и}}$ – зольность ила в долях единицы;

$t_{\text{аэр.}}$ – время обработки сточной воды в аэротенке, ч;

$R_{\text{и}} = Q_{\text{в.}}/Q_{\text{ил}}$ – количество рециркулируемого ила в аэротенк от количества очищаемой воды;

$Q_{\text{ил}}$ – количество рециркулируемого активного ила в аэротенк, м³/сут;

б) по БПК₅, мг/(г·сут):

$$q_{\text{ил.}} = \frac{\text{БПК}_5 \cdot 24}{t_{\text{аэр.}} \cdot (1 + R_{\text{и}}) \cdot a_{\text{аэр.}} \cdot (1 - Z_{\text{и}})}. \quad (4.2)$$

Из опыта эксплуатации аэротенков известно, что активный ил сохраняет свою активность при нагрузке по БПК₅ в пределах 200-500 мг/(г·сут) в пересчёте на беззольное вещество ила.

Возраст ила – это среднее время его пребывания в системе аэрационных сооружений, определяемое как частное от деления общей массы ила в аэрационной

системе (включая регенератор, каналы и вторичные отстойники) на суточный прирост ила. Возраст ила $\Pi_{\text{ил}}$ измеряется в сутках.

$$\Pi_{\text{ил}} = \frac{W_{\text{r}} \cdot a_{\text{r}} + W_{\text{аэр.}} \cdot a_{\text{аэр.}} + W_{\text{к}} \cdot a_{\text{к}} + W_{\text{в.о.}} \cdot a_{\text{в.с.}} + W_{\text{а.о.}} \cdot a_{\text{r}}}{(\text{Пр} - a_{\text{t}}) \cdot Q_{\text{в}}}, \quad (4.3)$$

где W_{r} - объём регенератора ила, м^3 ; $W_{\text{аэр.}}$ - объём аэротенка (зоны аэрации), м^3 ;
 $W_{\text{к}}$ - объём каналов и трубопроводов возврата активного ила, м^3 ;
 $W_{\text{в.о.}}$ - объём отстойной зоны вторичных отстойников, м^3 ;
 $W_{\text{и.о.}}$ - объём иловой зоны вторичных отстойников, м^3 ;
 $a_{\text{аэр.}}$ - концентрация ила в зоне аэрации аэротенка, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $a_{\text{к}}=a_{\text{r}}$ - концентрация возвратного (циркуляционного) ила (в иловой зоне, каналах и в регенераторе), $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $a_{\text{в.о.}}=a_{\text{аэр.}}$ - средняя концентрация ила в отстойной зоне вторичного отстойника, соответствует дозе ила в аэротенке, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $Q_{\text{в}}$ - суточный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$; Пр - прирост ила в аэротенках, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\text{Пр} = 0,8 \cdot K_{\text{в}} + 0,3L_{\text{ен}}, \quad (4.4)$$

a_{t} - вынос взвешенных веществ из вторичных отстойников, т.е. потеря активного ила; $L_{\text{ен}}$ - БПК_{полн.} сточной воды, поступающей в аэротенки, $\text{г}/\text{м}^3$.

Окислительная мощность (ОМ) аэротенка, $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$ - это количество снятых загрязнений за сутки в 1 м^3 аэротенка (включая и регенератор);

$$\text{ОМ} = \frac{(\text{БПК}_{5\text{поступ.}} - \text{БПК}_{5\text{очищ.}}) \cdot Q_{\text{в}}}{V} = \frac{\Delta \text{БПК}_5 \cdot 24}{t_{\text{аэр.}} + t_{\text{r}}}, \quad (4.5)$$

здесь $t_{\text{аэр.}}$ - время обработки воды в зоне аэрации, ч;

t_{r} - время регенерации ила (в регенераторе), ч.

Скорость окисления органических веществ - это способность активного ила окислять 1 г беззольного вещества ила мг БПК_{полн.} за 1 час или за сутки.

$$\rho = \frac{(L_{\text{ен}} - L_{\text{ex}})}{a_{\text{ср.}} (1 - Z_{\text{и.}}) \cdot t_0}, \quad (4.6)$$

где $L_{\text{ен}}$, L_{ex} - БПК_{полн.}, $\text{мг}/\text{л}$, соответственно в поступающей и очищенной воде;

$a_{\text{ср.}}$ - средняя доза в общем объёме аэротенка, $\text{г}/\text{л}$, находится по зависимости

$$a_{\text{ср.}} = \frac{V_{\text{аэр.}} \cdot a_{\text{аэр.}} + V_{\text{r}} \cdot a_{\text{r}}}{V_{\text{аэр.}} + V_{\text{r}}}, \quad (4.7)$$

здесь $a_{\text{аэр.}}$, a_{r} - доза ила соответственно в аэротенке и в регенераторе, $\text{г}/\text{л}$;

$V_{\text{аэр.}}$, V_{r} - объём соответственно зоны аэрации и регенерации, м^3 ;

t_0 - общая продолжительность окисления органических веществ, ч

$$t_0 = t_{\text{аэр.}} + t_{\text{r}}, \quad (4.8)$$

здесь $t_{\text{аэр.}}$, t_{r} - время аэрации воды и регенерации ила, ч.

Способность активного ила быстро оседать характеризует его качество. Этот параметр активного ила оценивается величиной илового индекса J_i , $\text{см}^3/\text{г}$. Ил с индексом $J_i = 80-100 \text{ см}^3/\text{г}$ хорошо оседает за 30 мин и не образует мелкой мути в

отстоянной воде. При величине $J_i > 150 \text{ см}^3/\text{г}$ может наступить «вспухание» ила, такой ил плохо оседает во вторичных отстойниках, что ведёт к ухудшению качества очищенной воды, выпускаемой в водоём, и увеличению вероятности загрязнения водоёма. При этом происходит большая потеря активного ила.

Ухудшение работы аэротенков может быть вызвано целым рядом причин, но наиболее важными являются: ухудшение или нарушение массообменных процессов внутри клеток активного ила; внутривидовая конкуренция микроорганизмов; угнетение микроорганизмов ила продуктами метаболизма и др. внешние условия.

Оценивая вероятность технологических параметров работы аэротенка, можно выявить качество его работы, выбрать оптимальный режим, который обеспечивает максимальную его производительность или ОМ при достижении наилучшего качества очищенной воды при минимальных затратах средств.

Порядок выполнения работы

1. С помощью мерного цилиндра и секундомера определить расчётный расход сточной воды, направляемой на очистку в аэротенк 1 из бака 3 через трубопровод 6, приёмную воронку 7 и трубопровод 8 (рис. 4.2). Для предотвращения выпадения в осадок загрязнений сточную воду в баке 3 необходимо перемешивать пропеллерной мешалкой. Пополнение запаса сточной воды следует предусматривать через трубопровод 4.

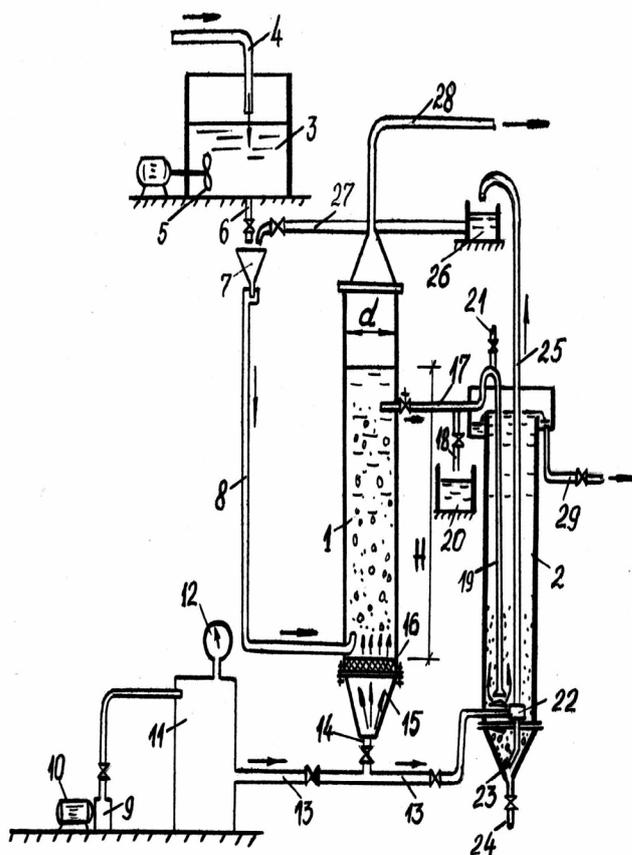


Рис. 4.2. Схема лабораторной установки аэротенка и вторичного отстойника:

1 – аэротенк; 2 – вторичный отстойник; 3 – бак со сточной водой; 4 – трубопровод пополнения запаса сточной воды; 5 – пропеллерная мешалка; 6 – подача сточной воды; 7 – приёмная воронка; 8 – подача сточной воды в аэротенк; 9 – компрессор; 10 – электродвигатель; 11 – ресивер; 12 – манометр; 13 – подача сжатого воздуха; 14 – подача воздуха в воздушный канал; 15 – подача воздуха в воздушный канал; 16 – аэратор фильтросного типа; 17 – трубопровод для отвода очищенной воды; 18 – патрубок для отбора очищенной иловой смеси в аэротенк; 19 – трубопровод иловой смеси во вторичный отстойник; 20 – ёмкость для анализируемой иловой смеси из аэротенка; 21 – воздушный патрубок для регулирования уровня воды в аэротенке; 22 – эрлифт для отвода ила из вторичного отстойника; 23 – конус для сбора ила; 24 – патрубок для выпуска ила на анализ; 25 – отвод ила с помощью эрлифта 22 в сборный бак 26; 27 – подача возвратного ила в аэротенк; 28 – выпуск воздуха (отработанного) из аэротенка; 29 – отвод очищенной воды

Данные по замеру сточных вод занести в табл. 4.1.

Результаты замеров расхода сточной воды

Наименование параметра	Замеры			
	1	2	3	средний
Расход сточной воды, мл/мин	q_1	q_2	q_3	$q_{ср.}$

2. Для анализа технологических параметров в одну колбу отобрать один литр сточной воды, поступающей в аэротенк 1, в другую - очищенной воды из трубопровода 29 после вторичного отстойника 2.

В анализируемых пробах определить: концентрацию взвешенных веществ, БПК₅ и перманганатную окисляемость. Полученные данные записать в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Показатели состава сточных вод

Наименование показателей	Поступающая сточная вода	Очищенная сточная вода (после вторичного отстойника)	Эффект снижения загрязнений, %
Взвешенные вещества, мг/л			
БПК ₅ , мг/л			
Окисляемость, мг/л			

3. Далее отобрать пробу смеси ила и сточной воды из аэротенка через патрубок 18 в количестве 500 мл и провести определение величины илового индекса, т.е. способность оседать активного ила в мерном цилиндре в состоянии покоя. Замеры объёма ила, мл, следует производить с интервалом времени 3 – 5 мин. Результаты замеров занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Объём ила при отстаивании в состоянии покоя

Время от начала отстаивания, мин	5	10	15	20	25	30
Объём ила, мл						

4. Для анализа ила, поступающего в аэротенк из вторичного отстойника, отобрать пробу из трубопровода 24 или 27 в количестве 0,5-1 л.

5. В отобранной пробе иловой смеси из аэротенка 1 определить концентрацию активного ила, г/л.

6. В пробе ила, поступающего в аэротенк из вторичного отстойника, определить:

- 1 - дозу ила по сухому веществу, г/л, возвращаемого в аэротенк - a ;
- 2 – зольность ила (в долях единицы или в процентах);
- 3 – дозу ила по беззольному веществу, г/л.

Оформление работы

1. После определения состава сточных вод вычислить эффекты снижения концентрации загрязнений. Результаты расчётов внести в табл. 4.2. На основании полученных результатов исследований выполнить расчёт основных технологических характеристик работы аэротенка. Результаты расчётных параметров занести в табл. 4.4.

2. Вычислить нагрузку на активный ил по взвешенным веществам по формуле (4.10); по БПК₅ – по формуле (4.2).

3. Вычислить по формуле (4.5) окислительную мощность аэротенка, а скорость окисления органических веществ найти по формуле (4.6).

4. Возраст активного ила вычислить по формуле (4.3).

5. Для определения величины илового индекса необходимо осевший за 30 мин отстаивания объём иловой смеси разделить на дозу ила в иловой смеси, т.е. величину илового индекса следует вычислять по формуле, мл/г или см³/г:

$$J_i = \frac{V_{\text{ил}}}{a_{\text{ил}}} = \frac{2 \cdot 500}{a_i}, \quad (4.9)$$

6. По данным табл. 4.3 построить график изменения объёма ила, т.е. его осевшего количества за различное время отстаивания (см. рис. 4.3), мл.

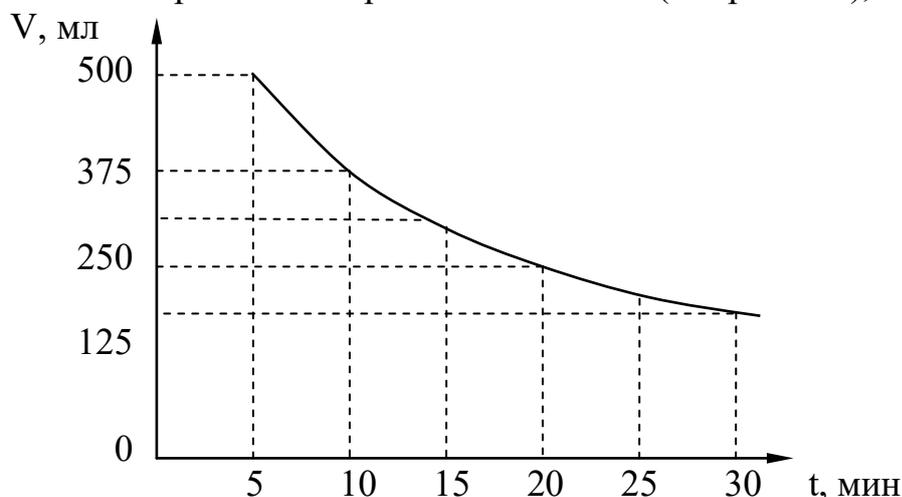


Рис. 4.3. Зависимость снижения объёма ила при отстаивании иловой смеси из аэротенков

Таблица 4.4

Основные технологические характеристики работы аэротенка

Время аэрации, ч	Нагрузка, мг/сут		Окислительная мощность 1 м ³ аэротенка по БПК ₅ , г/(м ³ ·сут)	Скорость окисления по БПК ₅ , г/(м ³ ·ч)	Возраст ила, сут	Иловый индекс, мл/г или см ³ /г
	на 1 г беззольного ила по БПК ₅	на 1 г сухого ила по взвешенным веществам				

7. Сделать выводы и письменно ответить на все контрольные вопросы.

В выводах по лабораторной работе необходимо дать сравнительную оценку опытных данных (при наличии различных концентраций загрязнений, времени аэрации, количества возвратного ила, его концентрации и возраста, дозы ила в аэротенке и нагрузки на него по БПК₅). Установить оптимальные условия работы аэротенка.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры сточной воды определяют продолжительность её обработки в аэротенке?
2. За счёт каких технологических параметров активного ила можно ускорить процесс очистки (при равном качестве очищенной воды) сточных вод в аэротенке?
3. Какие другие условия работы аэротенка могут оказать как положительное, так и отрицательное влияние на его окислительную мощность?
4. По каким технологическим характеристикам активного ила можно судить об оптимальной работе аэротенка?

Литература [1, с.72-73]; [2, с. 99-105]; [3, с.85-111]; [9, с. 353-361].

ТЕМА 5. ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В процессе очистки городских сточных вод образуются различные виды осадков: сырой осадок в первичных отстойниках влажностью 93-95 % и зольностью 24-30 %; биологическая плёнка после биофильтров влажностью 96-96,5 %; избыточный активный ил из вторичных отстойников после аэротенков имеет влажность 99,2-99,7 % и зольность – 25-35 %. Средняя влажность смеси сырого осадка и избыточного ила на городских станциях аэрации составляет 96,2-96,6 %, а их количество колеблется в пределах 0,5-1 % от общего объёма очищаемых сточных вод. Хотя объём осадков на городских станциях аэрации редко превышает 1 % от объёма сточных вод, но стоимость их обработки и обезвоживания (без учёта стоимости утилизации осадков) эквивалентна затратам средств на полный комплекс механической и биологической очистки сточных вод.

Высокая стоимость обработки осадков заключается в их сложной характеристике химического состава и структуре взвешенных веществ. Большая неоднородность состава осадка и наличие в нём органических веществ ведёт к быстрому загниванию осадка, издавая неприятный кислый запах. Органическая часть смеси сырого осадка и активного ила в основном состоит из веществ белкового происхождения (до 50 %), содержание жиров и углеводов соответственно до 30 % и 10 %. В сыром осадке из первичных отстойников белков содержится в 2 раза меньше, а углеводов в 2,5-3 раза больше, чем в активном иле.

Большая часть влаги осадков находится в связанном состоянии, а поэтому нестабилизированные осадки обладают плохой водоотдачей, которая во многом зависит от размера твёрдой фазы частиц и химического состава загрязнений (см. прил. 2-4).

Процесс разложения органических веществ в кислой среде, т.е. гниение осадков сточных вод, сопровождается выделением неприятных запахов, образованием коллоидных и мелкодисперсных частиц и, следовательно, ухудшением водоотдачи осадков.

Стабилизация осадков заключается в предотвращении их загнивания. Этот процесс основан на изменении физико-химических свойств осадков, он сопровождается подавлением жизнедеятельности гнилостных бактерий, поддерживающих кислое брожение. В процессе стабилизации осадков происходит минерализация органических веществ в анаэробных или в аэробных условиях.

При стабилизации осадков степень минерализации органических веществ может быть различной, что по-разному скажется на улучшении водоотдающей способности осадков, изменении его объёма и удобриельных свойств.

Правильный выбор технологических параметров стабилизации осадков существенно влияет на продолжительность обработки осадка, степень минерализации органических веществ, объём сооружений и стоимость их обработки. Поэтому моделирование процесса может дать возможность выбора наилучших условий стабилизации в натуральных сооружениях и, следовательно, снизить затраты как на стабилизацию, так и на обезвоживание осадков.

Для стабилизации осадков городских сточных вод наиболее широкое применение получило анаэробное сбраживание смеси осадка и активного ила в метантенках. Продуктами сбраживания осадка в метантенках являются газообразные вещества, вода и минерализованная масса осадка.

Каждый органический компонент осадка даёт различное количество газа, поэтому соотношение по беззольному веществу осадка и ила будет влиять не только на удельный выход газа, но и на степень минерализации осадков.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.1

Оценка сбраживания осадков в моделях метантенков

Цель работы – выявить основные технологические параметры работы метантенков от влияющих факторов и оценить их соответствие существующим аналитическим зависимостям.

Оборудование: лабораторная модель метантенка (рис. 5.1), вакуум-насос; механическая мешалка с электродвигателем; блок автоматики и счётчик учёта газа ГСБ-400. Для оценки влажности и зольности осадков используется общепринятая методика на оборудовании: сушильный шкаф; муфельная печь; эксикатор; аналитические весы и контактный термометр.

Краткие теоретические сведения

Работа метантенков зависит от правильности определения их вместимости при фактических параметрах осадка и ила, их влажности и суточной дозы загрузки по объёму (в процентах) от общего объёма метантенка.

Расчётную вместимость метантенка следует определять по формуле, м³:

$$W_{\text{мет.}} = \frac{(V_{\text{ос.}} + V_{\text{ил.}})}{D_{\text{нт}}} \cdot 100, \quad (5.1)$$

где $V_{\text{ос.}}$ и $V_{\text{ил.}}$ – суточные объёмы соответственно сырого осадка и избыточного ила, м³/сут;

$D_{\text{нт}}$ – суточная доза загрузки смеси осадка и ила в процентах от общей вместимости метантенка. Принимается по СНиП [5, табл. 59, с. 56] или по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Суточные дозы загружаемого в метантенк осадка

Режим сбраживания	$D_{\text{нт}}$ (%), при влажности загружаемого осадка в процентах (не более)				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	7	8	8	9	10
Термофильный	14	16	17	18	19

Объём сырого осадка следует находить по формуле, м³/сут:

$$V_{\text{ос.}} = \frac{O_{\text{сух.}} \cdot 100}{(100 - B_{\text{ос.}}) \cdot \gamma_{\text{ос.}}}, \quad (5.2)$$

а избыточного активного ила – по уравнению, м³/сут:

$$V_{\text{ил.}} = \frac{U_{\text{сух.}} \cdot 100}{(100 - B_{\text{ил.}}) \cdot \gamma_{\text{ил.}}}, \quad (5.3)$$

где $O_{\text{сух.}}$ – количество абсолютно сухого вещества сырого осадка, задерживаемого в первичных отстойниках, т/сут, находится по формуле

$$O_{\text{сух.}} = \frac{(K_0 - K_B) \cdot Q_B}{10^6}, \quad (5.4)$$

$U_{\text{сух.}}$ – количество сухого вещества избыточного активного ила, удаляемого из вторичных отстойников, т/сут, определяются по формуле

$$U_{\text{сух.}} = \frac{(\text{Пр} - a_t) \cdot Q_B}{10^6}, \quad (5.5)$$

$B_{\text{ос.}}$ – влажность сырого осадка из первичных отстойников ($B_{\text{ос.}} = 93-95\%$);

$B_{\text{ил.}}$ – влажность уплотнённого избыточного ила (после вертикальных илоуплотнителей $B_{\text{ил.}} = 98\%$, а после радиальных – $B_{\text{ил.}} = 97 \div 97.3\%$);

$\gamma_{\text{ос.}}$ и $\gamma_{\text{ил.}}$ – удельный вес соответственно сырого осадка и избыточного ила, т/м³ (для практических расчётов $\gamma_{\text{ос.}}$ и $\gamma_{\text{ил.}}$ можно принимать равными 1 т/м³);

K_0 и K_B – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в отстойник и соответственно после осветления воды, г/м³;

Пр – прирост ила в аэротенках, г/м³,

$$\text{Пр} = 0,8 \cdot K_B + 0,3 \cdot L_{\text{ен}}, \quad (5.6)$$

$L_{\text{сн}}$ – БПК_{полн.} сточной воды, поступающей в аэротенк, г/м³;

a_t – вынос ила из вторичных отстойников, г/м³.

Для определения влажности смеси осадка первичных отстойников и уплотнённого избыточного ила (в процентах) следует воспользоваться зависимостью

$$V_{\text{см.}} = 100 \cdot \left[1 - \frac{O_{\text{сух}} + U_{\text{сух}}}{(V_{\text{ос.}} + V_{\text{ил}}) \cdot \gamma_{\text{см}}} \right], \quad (5.7)$$

здесь $\gamma_{\text{см}}$ – плотность смеси осадка и ила, т/м³.

Основным показателем, характеризующим процесс сбраживания осадков, является степень распада органических веществ. Процесс распада органических веществ сопровождается уменьшением в осадке беззольного вещества и увеличением влажности выгружаемого осадка.

Расчётную величину степени распада органических веществ R_r в зависимости от дозы загрузки находят по формуле, %:

$$R_r = R_{\text{lim}} - K_r \cdot D_{\text{нт}}, \quad (5.8)$$

где R_{lim} – максимально возможное сбраживание беззольного вещества загружаемого осадка, %; определяется (приблизительно) по формуле

$$R_{\text{lim}} = \frac{53 \cdot O_{\text{бз.}} + 44 \cdot U_{\text{бз.}}}{O_{\text{бз.}} + U_{\text{бз.}}}, \quad (5.9)$$

здесь 53 и 44 – максимальные значения сбраживания органических веществ, содержащихся в сыром осадке и активном иле, %;

$O_{\text{бз.}}$ – количество беззольного вещества, содержащегося в сыром осадке из первичных отстойников, т/сут, находится по формуле

$$O_{\text{бз.}} = \frac{O_{\text{сух.}} \cdot (100 - Z_{\text{ос.}}) \cdot (100 - B_{\text{г.ос.}})}{100 \cdot 100}, \quad (5.10)$$

$U_{\text{бз.}}$ – количество беззольного вещества в избыточном активном иле, т/сут, рассчитывается по уравнению

$$U_{\text{бз.}} = \frac{U_{\text{сух.}} \cdot (100 - Z_{\text{ил}}) \cdot (100 - B_{\text{г.ил}})}{100 \cdot 100}, \quad (5.11)$$

K_r – коэффициент, зависящий от влажности смеси осадка и ила (принимается по СНиП [5, табл. 61, с.56] или по табл. 5.2).

Таблица 5.2

Режим сбраживания	Значения коэффициента K_r при влажности загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	1.05	0.89	0.72	0.56	0.4
Термофильный	0.455	0.385	0.31	0.24	0.17

$Z_{\text{ос.}}$ и $Z_{\text{ил}}$ – зольность осадка и ила, %;

$B_{\text{г.ос.}}$ и $B_{\text{г.ил}}$ – гигроскопическая влажность осадка и ила (принимается равной 5 - 6 %).

Весовое количество биогаза, получаемого при сбраживании органических веществ, следует принимать согласно СНиП [5, п. 6.364, с.57]. Так как при сбраживании 1г органического вещества образуется 1г биогаза, то общее количество образующегося биогаза можно вычислить по формуле, м³ /сут :

$$\Gamma = \frac{(O_{\text{бз}} + U_{\text{бз}}) \cdot 1000}{R_r \cdot \gamma_r} \cdot 100, \quad (5.12)$$

где γ_r – объёмный вес биогаза, кг/м³ ($\gamma_r \approx 1$ кг/м³).

Зная объём выходящего газа из метантенка, нетрудно определить количество окисленного беззольного вещества и установить степень распада осадка в метантенке.

В практике эксплуатации метантенков осадок считается хорошо стабилизированным, а доза загрузки признаётся оптимальной, если в процессе сбраживания органических веществ степень распада составляет около 50 % загружаемого беззольного вещества.

Характеристиками процесса сбраживания осадка могут служить такие показатели осадка, как его кислотность, щелочность и рН жидкой фазы осадка.

Порядок выполнения работы

1. В рабочей тетради вычертить схему лабораторной модели метантенка, приведённую на рис. 5.1.

Лабораторная установка модели метантенка включает в себя метантенк 1 объёмом 5 л, размещённый в ванне термостата 2, мешалку 4 для перемешивания сбраживаемой смеси осадка и ила, устройства для загрузки исходного осадка 14 и выгрузки сброженного продукта 15, контактный термометр 8, который позволяет контролировать и поддерживать заданную температуру в ванной термостата.

Для удобства наблюдений за процессом брожения осадка, его загрузки и выгрузки модель метантенка выполнена из герметичного стеклянного сосуда со съёмной крышкой 17. Для поддержания постоянства температур сбраживаемых осадков модель метантенка помещена в ванну термостата, заполненную водой. Термостат снаружи покрыт теплоизоляционным материалом. Температурный режим воды в ванной термостата поддерживается автоматически при помощи блока автоматики 6, где в качестве датчика используется электронный термометр ТПК (термопара) 8. Уровень точности измерения температуры воды составляет $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Нагрев воды в ванной термостата производится трубчатым электронагревателем ТЭН 7.

Для выравнивания температур и обеспечения равномерного распределения сбраживаемой массы осадка и ила в модели метантенка, а также для улучшения массопередачи питательной среды анаэробному илу и одновременного отвода продуктов метаболизма сбраживаемая смесь периодически перемешивается пропеллерной мешалкой 4. Вращение механической мешалки осуществляется электрическим двигателем через редуктор 5, позволяющий регулировать скорость вращения мешалки. Источником питания служит электрическая сеть с напряже-

нием 220 В. Режим включения и выключения мешалки осуществляется автоматически при помощи реле времени.

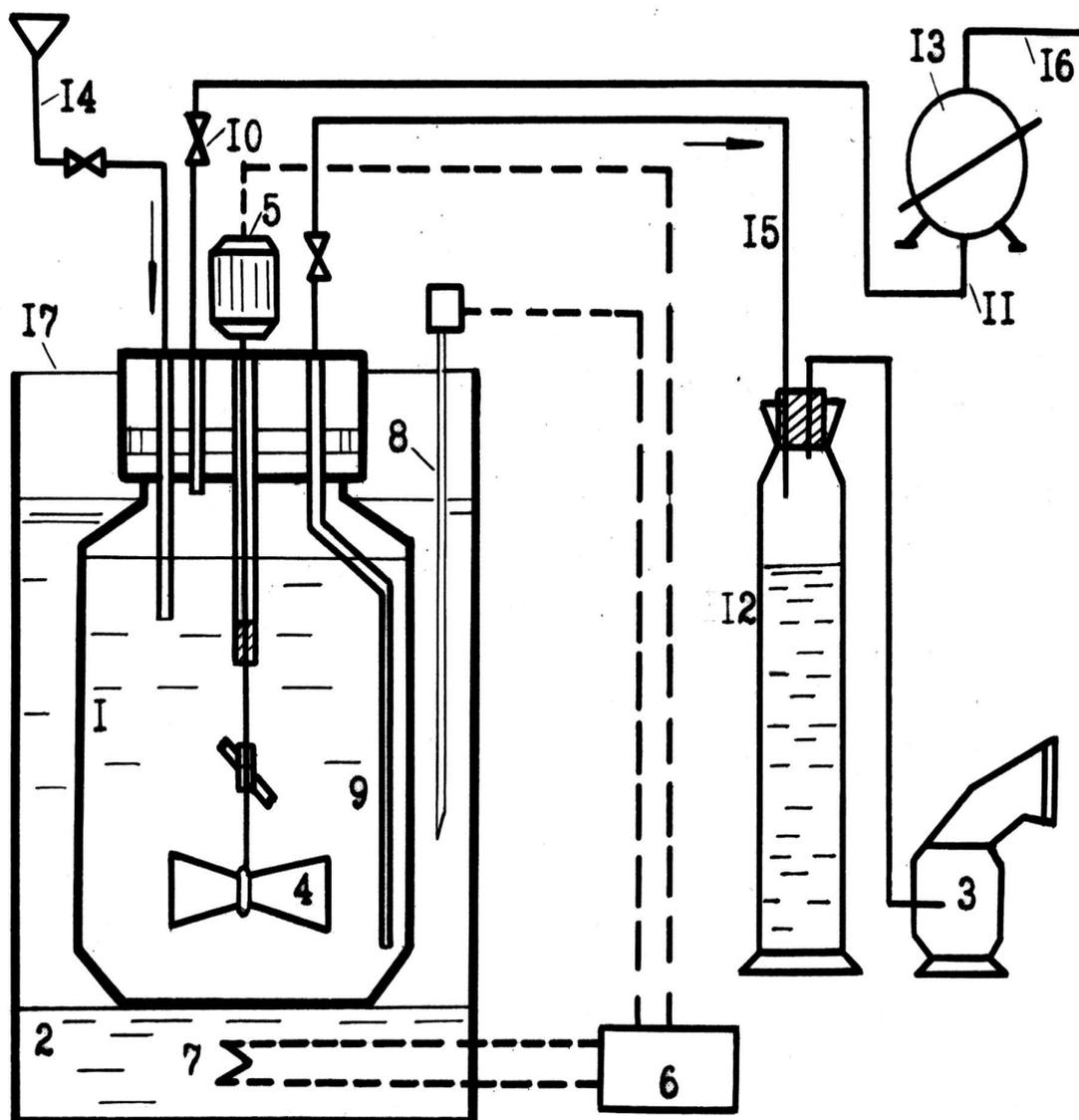


Рис. 5.1. Схема лабораторной модели метантенка:

1- ёмкость метантенка; 2 – ванна термостата; 3 – вакуум-насос; 4 – механическая мешалка; 5 – электродвигатель; 6 – блок автоматики; 7 – ТЭН; 8 – контактный термометр; 9 – трубки из нержавеющей стали; 10 – винтовые зажимы; 11 – резиновые шланги; 12 – мерный сосуд; 13 – газовый счётчик; 14 – загрузка исходной смеси; 15 – выгрузка сброженного осадка; 16 – газ в атмосферу; 17 – съёмная крышка

С целью предотвращения засорения трубопроводов загрузки 14 и выгрузки 15 смесь сырого осадка и активного ила перед загрузкой в модель метантенка процеживается через сито с размером ячеек 3x3 мм. В качестве трубопроводов используются резиновые или хлорвиниловые шланги 11 диаметром не менее 8 мм и трубки из нержавеющей стали 9.

2. В процессе работы модели метантенка необходимо обеспечивать загрузку исходной смеси осадка и ила по трубопроводу 14 и одновременно отводить такой же объём сброженного осадка в мерный цилиндр 12, присоединённый к вакуум-наосу 3, чтобы исключить загрязнение помещения и обслуживающего персонала. Интервал между загрузками метантенка не должен превышать 8 часов.

3. Выбор расчётной продолжительности сбраживания смеси осадка и ила, с учётом влажности смеси $V_{см.}$, определить по расчётной зависимости, сут:

$$t = \frac{100}{D_{mt}}, \quad (5.13)$$

где D_{mt} – суточная доза загрузки метантенков в процентах от общего объёма (т.е. от 100 % за весь период сбраживания), принимается по табл. 5.1 с учётом режима сбраживания.

Продолжительность сбраживания осадка целесообразно проверить по зависимости

$$t = \frac{W_{мет.}}{q_{смеси}}, \quad (5.14)$$

здесь $W_{мет.}$ – объём модели метантенка, л ($W_{мет.} = 5$ л);

$q_{смеси}$ – объём загружаемой смеси осадка и ила в метантенк, л/сут.

4. Найти количество загружаемой смеси осадка и ила, л/сут, из условия равенства значений t по формулам (5.13) и (5.14):

$$q_{смеси} = \frac{W_{мет.}}{t}. \quad (5.15)$$

5. Для поддержания расчётного режима работы метантенка загрузку исходной смеси и выгрузку стабилизированного продукта осуществить 6÷8 раз в сутки. При этом вести регулярный контроль анализов по традиционной методике следующих показателей: рН среды; влажность и зольность исходного и сброженного осадка, а также фиксировать объём выделяющегося биогаза по показаниям газового счётчика.

6. Концентрацию аммонийного азота, летучих жирных кислот (ЛЖК) и щелочности определять 2-3 раза в неделю персоналом лаборатории.

7. Оценить эффективность процесса сбраживания осадка в метантенке по двум показателям:

1 – по фактическому и расчётному объёму выделяющихся газов;

2 – по фактическому и расчётному показателю степени минерализации беззольного (органического) вещества.

Примечание. Перед каждой загрузкой исходной смеси осадка проводить его анализ на влажность и зольность. Выгрузку сброженного осадка производить одновременно с загрузкой и так же определять влажность и зольность.

Полученные результаты анализов занести в табл. 5.3.

Результаты технологических параметров расчётных и фактических (по замерам) по определению степени распада органических веществ в зависимости от дозы загрузки

Номер опыта	Загрузка							
	Влажность смеси осадка и ила, %	Зольность, %	Доза загрузки			Продолжительность сбраживания, сут	Показания газового счётчика	
			% в сут	л/сут	по сухому беззольному веществу, г/л		начало опыта	конец опыта
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.								
2.								
3.								

Окончание табл. 5.3

Выгрузка						Иловая жидкость		
Объём выходящего газа, л	Влажность сброженного осадка, %	Зольность сброженного осадка, %	Количество выгруженного беззольного вещества, г/л	Убыль беззольного вещества		Кислотность, мг.экв/л	Щелочность, мг.экв/л	рН
				г/сут	%			
10	11	12	13	14	15	16	17	18

Оформление работы

По результатам опытных данных построить график зависимости степени распада органических веществ от дозы загрузки (см. рис. 5.2).

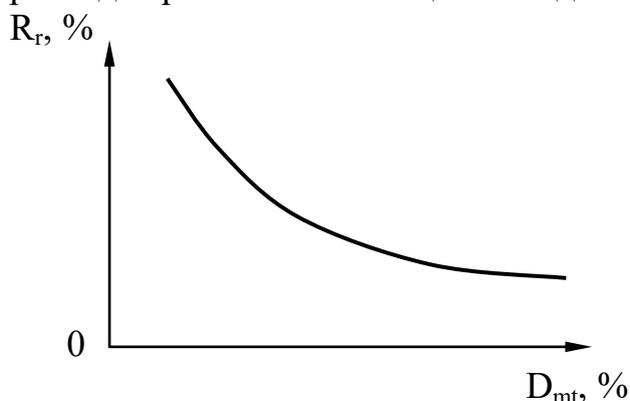


Рис. 5.2. Зависимость степени распада органических веществ от дозы загрузки метантенка

Пользуясь полученной зависимостью, необходимо установить оптимальную дозу загрузки осадков. В конце лабораторной работы составит отчёт с письменными выводами по работе и ответами на контрольные вопросы. В выводах по лабораторной работе необходимо дать сравнительный анализ степени распада орга-

нических веществ (расчётных и фактических значений); объяснить возможные отклонения расчётных и фактических значений по степени распада органических веществ.

Контрольные вопросы

1. При каких условиях может нарушиться процесс брожения осадка? Почему?
2. Почему увеличение активного ила в смеси с осадком ведёт к снижению степени распада органических веществ, даже при равной продолжительности сбраживания?
3. При сбраживании 1 м^3 осадка и 1 м^3 ила образуется различное количество биогаза. Объяснить почему?
4. Почему при термофильном процессе сбраживания разница между R_{lim} и R_{r} больше, чем при мезофильном сбраживании?
5. Можно ли по удельному выходу газа установить эффективность работы метантенков при известных параметрах загрузки и состава осадка?

Литература

[1, с. 151-155]; [2, с. 132-138]; [3, с. 200-203]; [6, с. 48-63]; [9, с. 277-291].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.2

Определение удельного сопротивления осадка при фильтрации

Цель работы – найти значения удельного сопротивления осадков по водоотдаче и дать оценку этих показателей для осадков различного вида (например, сырого осадка и активного ила, нестабилизированных и стабилизированных осадков).

Оборудование: мерные цилиндры; воронка; стеклянная ёмкость для сбора фильтрата; вакуум-насос; электродвигатель; измерительная и запорная арматура; секундомер и аналитические весы.

Краткие теоретические сведения

Водоотдача осадков во многом зависит от размера частиц их твёрдой фазы. Известно, что дисперсная фаза осадков включает в себя частицы органического и минерального вещества не только различных размеров, но и различных форм и свойств. Опыт эксплуатации сооружений обезвоживания осадков свидетельствует о лучшей водоотдаче осадка первичных отстойников, чем сброженного или уплотнённого активного ила. Искусственное или естественное изменение состава и свойства осадка приводит к изменению их водоотдачи.

Ввиду различия состава очищаемых сточных вод водоотдача осадков разных очистных станций тоже различна.

Важной характеристикой осадка является показатель удельного сопротивления осадка, который используется для выбора расчётных технологических параметров сооружений для механического обезвоживания этих осадков.

Удельное сопротивление осадка – это сопротивление единицы массы твёрдой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтрации суспензии под постоянным давлением вязкости жидкой фазы осадка, равной 1.

Согласно существующей теории фильтрования суспензий, удельное сопротивление осадка r , характеризующее сопротивление фильтрации и фильтруемость (водоотдачу) осадков, необходимо определять по формуле

$$r = \frac{2 \cdot P \cdot F^2}{\eta \cdot G'} \cdot b, \quad (5.16)$$

где P – вакуум, при котором происходит фильтрование (следует определять при вакууме 0,067 МПа или 500 мм рт. ст.);

F – площадь фильтрующей поверхности, см²; η – вязкость фильтрата, пз;

G' – масса твёрдой фазы кека (концентрация обезвоженного осадка), отлагающегося на фильтре при получении единицы объёма фильтрата, г/см³; b – параметр, получаемый опытным путём,

$$b = \frac{t/V}{V} = \frac{t}{V^2}, \quad (5.17)$$

здесь t – время фильтрации, с; V – объём образующегося фильтрата, см³.

Параметр b необходимо определять по графику, имеющему вид рис. 5.3.

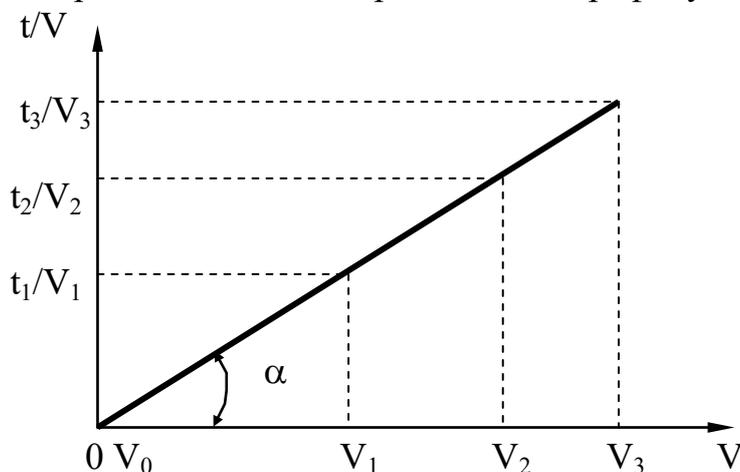


Рис. 5.3. Зависимость t/V от V

Из рис. 5.3 видно, что значение величины b формулы (5.17) представляет собой тангенс угла наклона прямой к абсциссе V , т.е.

$$b = \frac{t/V}{V} = \frac{m}{n} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.17a)$$

При определении удельного сопротивления осадка основные технологические параметры F , η и P остаются постоянными, поэтому зависимость этих параметров в формуле (5.16) можно обозначить постоянным коэффициентом, отражающим условие опыта, т.е.

$$\frac{2 \cdot P \cdot F^2}{\eta \cdot G'} = K, \quad (5.18)$$

тогда формула (5.16) примет вид, см/г:
$$r = K \cdot \frac{b}{G}. \quad (5.19)$$

Следовательно, для определения удельного сопротивления осадка необходимо в лабораторных условиях найти значения параметров **G**, т.е. начальную концентрацию осадка и параметр условия опыта **b**.

Порядок выполнения работы

1. Концентрацию взвешенных веществ в осадке (г/см^3 или г/мл), влажность и зольность осадка следует определять по стандартной методике. А для определения параметра условий опыта необходимо воспользоваться лабораторной установкой, которая показана на рис.5.4.

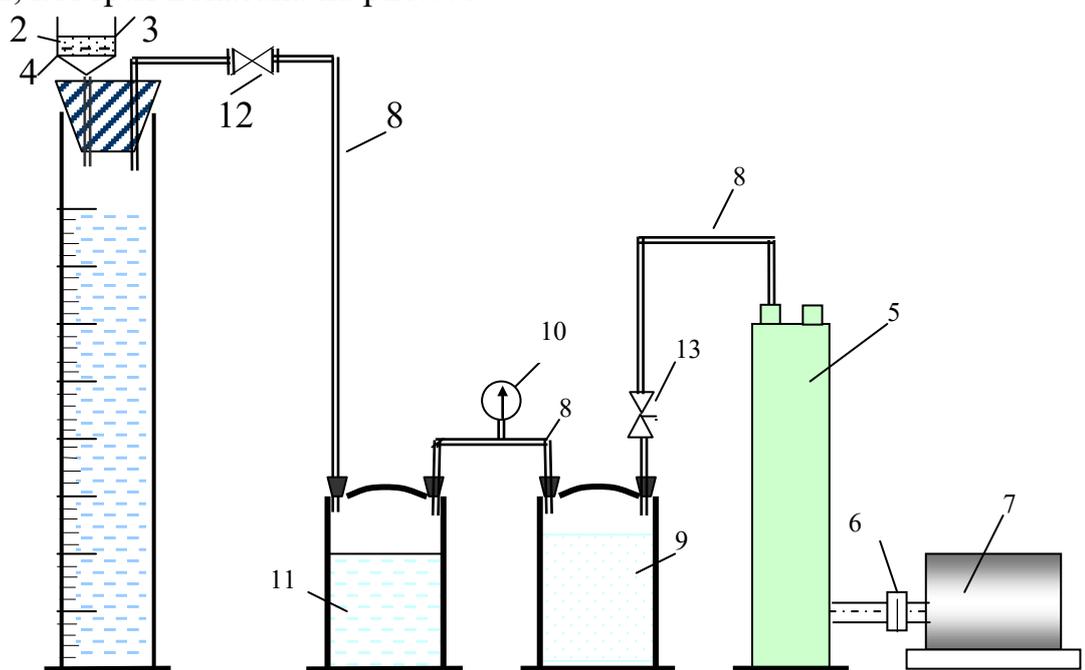


Рис.5.4. Лабораторная установка для определения удельного сопротивления осадка:

- 1 – мерный цилиндр; 2 – воронка; 3 – исследуемый осадок;
- 4 – ткань для фильтрации осадка; 5 – вакуум-насос;
- 6 – соединительная муфта (редуктор); 7 – электродвигатель;
- 8 – соединительные шланги; 9 – ресивер; 10 – вакуумметр;
- 11 – ёмкость для сбора фильтрата; 12 – запорный кран;
- 13 – трёхходовой кран для регулирования вакуума

Использовать мерный цилиндр вместимостью 200-250 мл для замера фильтрата при удалении влаги в момент действия вакуума.

Воронку снабдить решёткой для поддержания фильтрующей ткани.

2. Фильтровальную ткань подготовить к работе, чтобы она не впитывала влагу из осадка и не набухала, поэтому ткань следует смочить дистиллированной водой и уложить на решётку в воронке 2. После этого в воронку налить чистой воды в количестве $30\text{-}50 \text{ см}^3$.

3. Заранее взвесить цилиндр, кроме имеющегося в установке, и налить анализируемый осадок 150-200 см³ и повторно взвесить. Массу осадка определить по уравнению

$$M_{\text{ос.}} = M_2 - M_1, \quad (5.20)$$

где M_1 – вес пустого цилиндра; M_2 – вес цилиндра с осадком, г.

4. Найти плотность ρ , кг/м³, осадка по формуле

$$\rho = \frac{M_{\text{ос.}}}{V_{\text{ос.}}} \cdot 10^3, \quad (5.21)$$

где $M_{\text{ос.}}$ – масса осадка, г; $V_{\text{ос.}}$ – объём осадка, см³.

5. Определить влажность и зольность осадка, полученные данные занести в табл. 5.4.

6. Далее приступить к определению удельного сопротивления осадка (для этого вначале включается вакуум-насос) и удалить воду, которая была налита в воронку для дополнительного смачивания фильтрующей ткани. В мерном цилиндре 1 зафиксировать количество профильтрованной чистой воды V_0 .

Таблица 5.4

Результаты анализа осадка

Но- мер опы- та	Характеристика исходного осадка				Характеристика осадка после коагулирования	
	Влаж- ность осадка $V_{\text{ос.}}, \%$	Золь- ность $Z_{\text{ос.}}, \%$	Плот- ность $\rho_{\text{ос.}},$ кг/ м ³	Удельное со- противление $r_{\text{ос.}} \cdot 10^{-10}, \text{ см/г}$	Вакуум $P,$ мм.рт. ст.	Удельное сопротивле- ние $r_{\text{ос.}} \cdot 10^{-10}, \text{ см/г}$
1						
2						
3						

7. Анализируемый осадок хорошо перемешать и при закрытом кране 12 вылить в воронку 2. При вакууме $P=500$ мм рт. ст. открыть кран 12 и довести величину вакуума до заданного значения. В момент достижения нужного вакуума включить секундомер и записать значение начального объёма фильтрата в цилиндре 1, т.е. V_b .

Опыт следует вести при постоянном значении вакуума, а для этого путём частичного открытия или закрытия трёхходового крана вести регулирование нужного вакуума.

8. Через 15-20 с от момента начала опыта записать отсчёт объёма фильтрата. При снижении скорости фильтрации промежутки между замерами объёмов можно увеличить до 1-2 мин. Общая продолжительность опыта должна длиться не более 10-15 мин. Полученные данные занести в табл. 5.5.

После прекращения фильтрации или в момент появления трещин в осадке необходимо выключить секундомер и вакуум-насос, записать последнее значение объёма фильтрата и время окончания опыта.

Результаты замеров для определения величины **b**

t, с	Объём фильтрата, см ³	Количество фильтрата за время между замерами ΔV_t , см ³	$t/\Delta V_t$, с/см ³	Значение величины «b»
0	V_b			
		$\Delta V_1 = V_1 - V_b$	$15/(\Delta V_1)$	$15/(\Delta V_1)^2$
15	V_1			
		$\Delta V_2 = V_2 - V_b$	$30/(\Delta V_2)$	$30/(\Delta V_2)^2$
30	V_2			
		$\Delta V_3 = V_3 - V_b$	$60/(\Delta V_3)$	$60/(\Delta V_3)^2$
60	V_3			
		$\Delta V_4 = V_4 - V_b$	$90/(\Delta V_4)$	$90/(\Delta V_4)^2$
90	V_4			
		$\Delta V_5 = V_5 - V_b$	$120/(\Delta V_5)$	$120/(\Delta V_5)^2$
120	V_5			

Оформление работы

По данным табл. 5.5 вычислить среднее арифметическое значение **b**

$$b_{\text{ср.}} = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_i}{i}, \quad (5.22)$$

где b_1, b_2, \dots, b_i – значение величин после очередного замера времени и объёма фильтрата (например, 1 - при $t = 15$ с, 2 – при $t = 30$ с и т.д.); i – общее число записей замеров.

Пример: Допустим, $b_{\text{ср.}} = 0,13$ с/см⁶; объём исходного осадка равен $V = 120$ мл или 120 см³, а вес осадка составляет 128 г. Определим плотность исходного осадка по формуле (5.21): $\rho_{\text{ос.}} = 128/120 = 1,067$ г/см³ или $\rho_{\text{ос.}} = 1067$ кг/м³.

При диаметре воронки и фильтрующей ткани равном $d = 9$ см площадь её составит $F = 63,59$ см². При значении вязкости фильтрата $\eta \approx 0,01$ пз и рабочем вакууме $P = 500$ мм рт. ст. ($P = 0,067$ МПа) значение величины **K** вычислим по формуле (5.18).

Если допустить, что на фильтрующей ткани будет полностью задерживаться масса сухого вещества, содержащегося в исходном осадке, то концентрацию твёрдой фазы осадка, кг/м³, можно определить по формуле

$$G = \frac{(100 - B_{\text{ос.исх.}})}{100} \cdot \rho_{\text{ос.}} = \frac{(100 - 95)}{100} \cdot 1067 = 53,35, \quad (5.23)$$

где $B_{\text{ос.исх.}}$ – влажность исходного осадка, % ($B_{\text{ос.исх.}} = 95$ %);

$\rho_{\text{ос.}}$ – плотность осадка, найденного по формуле (5.21), кг/м³ (для рассматриваемого случая $\rho_{\text{ос.}} = 1067$ кг/м³).

$G = 53,35$ кг/м³ = 0,05335 г/см³.

Величину удельного сопротивления осадка можно найти по формуле (5.19). Для выполнения расчётов и получения достоверных данных необходимо величини-

ны опытов привести к соответствующим размерностям. Преобразование параметров, полученных в процессе исследований, выполним следующим образом:

вакуум равный $P=500$ мм рт. ст. $= 500/760=0,6579$ атм. $=9,81 \cdot 10^4 \cdot 0,6579$ н/м²;
 концентрация твёрдой фазы осадка $G=0,05335$ г/см³ $= 0,0533 \cdot 10^{-3}$ кг/см³ $= 0,05335 \cdot 10^6=0,05335 \cdot 10^3$ кг/м³;

площадь фильтра $F=63,59$ см² $=63,59 \cdot 10^{-4}$ м²;

вязкость фильтрата

$$\eta=0,01 \frac{\text{дин} \cdot \text{с}}{\text{см}^2} = 0,01 \cdot 10^{-3} \frac{\text{г} \cdot \text{с}}{\text{см}^2} = 0,01 \cdot 10^{-6+4} \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = 9,81 \cdot 10^{-4} \frac{\text{н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

Величину $r_{\text{ос.}}$ вычислить по формуле (5.19) с учётом приведения размерности к единой системе:

$$r_{\text{ос.}} = \frac{(2P \cdot F^2 \cdot b)}{\eta \cdot G} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 0,6579 \cdot (63,59 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 0,13 \cdot 10^{12}}{9,81 \cdot 10^{-4} \cdot 0,05335 \cdot 10^3} =$$

$$= 1,298 \cdot 10^{13} \text{ м/кг} = 1,298 \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 1,298 \cdot 10^{12} \text{ см/г} = 129,8 \cdot 10^{10} \text{ см/г}.$$

В технической литературе величину удельного сопротивления осадка, имеющую величину $r_{\text{ос.}}=129,8 \cdot 10^{10}$ см/г, записывают в виде

$$R = r_{\text{ос.}}/10^{10} = r_{\text{ос.}} \cdot 10^{-10} \text{ см/г}.$$

Вычисленные значения величин $r_{\text{ос.}}$ для исходного осадка и после его коагуляции занести в табл. 5.4.

После обработки опытных данных необходимо письменно в выводах отразить полученные результаты.

При составлении выводов необходимо отразить влияние состава осадка на его влагоотдающие свойства, а также достоинства или недостатки влияния коагуляции на изменение величины удельного сопротивления осадка.

Письменно ответить на все контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие осадки обладают большим удельным сопротивлением? Почему?
2. Какие свойства осадка влияют на изменение его удельного сопротивления?
3. За счёт каких технологических приёмов можно снизить удельное сопротивление осадка?
4. При каких характеристиках свойств осадков наиболее эффективно применение сооружений механического обезвоживания?

Литература

[3, с.210-215]; [6, с. 10-19].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.3

Определение производительности вакуум-фильтра

Цель работы – получить сведения о механизме протекания процесса обезвоживания осадка при действии вакуума и определить производительность вакуум-фильтра в зависимости от исходных параметров осадка.

Оборудование: мерные цилиндры; воронка; стеклянная ёмкость для сбора фильтрата; вакуум-насос; электродвигатель; измерительная и запорная арматура; секундомер и аналитические весы; металлическая линейка с делениями.

Краткие теоретические сведения

Механическое обезвоживание осадков (т.е. фильтрация) – представляет собой процесс разделения исходного осадка на фильтрующей ткани на жидкую фазу в виде фильтрата и отфильтрованный продукт твёрдой фазы в виде кека.

Для фильтрации осадка наиболее часто используют хлопчатобумажные и искусственные материалы.

В основу процесса механического обезвоживания осадка положено условие разности давления, которое имеет место перед фильтрующей тканью со стороны осадка и после неё, куда отводится фильтрат. В процессе работы вакуум-фильтра жидкая фаза осадка проходит через ячейки фильтрующей ткани, а твёрдые частицы, размер которых превышает размер ячеек фильтрующей ткани, задерживаются на поверхности ткани, образуя слой обезвоженного осадка. Слой осадка, который образуется на поверхности фильтрующего устройства вакуум-фильтра в течение действия вакуума, постепенно увеличивается (т.е. увеличивается толщина слоя кек), а это повышает сопротивление движению жидкости через него. Поэтому слой обезвоженного осадка (кека) необходимо периодически удалять с поверхности фильтрующей ткани барабанного вакуум-фильтра, чтобы обеспечить свободный отток влаги. Для поддержания оптимальных условий работы барабанного вакуум-фильтра целесообразно обеспечить вращение фильтра и за один полный оборот барабана должны быть обеспечены все технологические условия, т.е. обезвоживание (удаление основной массы влаги), подсушивание обезвоженного, отдувка и снятие осадка. Так как свойства осадка могут быть различные, то скорость вращения барабана вакуум-фильтра следует подбирать с учётом свойств исходного осадка и влажности его после обезвоживания. Время, затрачиваемое на один оборот барабана, с учётом всех циклов, может составлять от 2 до 6 мин и более.

В тех случаях, когда осадки имеют высокую влажность и малое содержание твёрдых частиц, их целесообразно подвергать дополнительному сгущению путём уплотнения. Эксплуатационные данные подтверждают положительное влияние снижения исходной влажности на производительность фильтра. Имеются сведения, что уменьшение влажности осадка с 95 % до 85 % увеличивает производительность вакуум-фильтра почти в 4 раза. Следовательно, снижение исходной

влажности осадка может существенно снизить содержание в нём влаги и уменьшить затраты электроэнергии на создание вакуума. Чтобы на поверхности фильтрующей ткани быстро образовался слой обезвоженного осадка толщиной не менее 5 мм, желательно, чтобы масса твёрдой фазы в осадке была не ниже 10 %, но твёрдые частицы не должны быстро оседать в корыте барабанного вакуум-фильтра. Следует выбирать такой режим работы вакуум-фильтра, чтобы в период подсушивания обезвоженного осадка в нём не появлялись трещины, т.к. это ведёт к снижению величины вакуума, а следовательно, к снижению производительности вакуум-фильтра и перерасходу электроэнергии. В то же время осадок после его подсушивания должен легко отделяться от фильтрующей ткани в период отдувки и в момент его снятия с барабана фильтра.

Производительность непрерывно действующих барабанных вакуум-фильтров по сухому веществу, кг/м², можно определять по известной зависимости [3,6]:

а) при обезвоживании осадков городских сточных вод

$$L = 0.24 \left(\frac{100 - B_k}{B_{исх.} - B_k} \right) \cdot \sqrt{\frac{\tau \cdot P \cdot \rho (100 - B_{исх.})}{\eta_0 \cdot t_{о.б.} \cdot R}}; \quad (5.24)$$

б) при обезвоживании осадков производственных сточных вод

$$L = 0.24 \cdot \rho \sqrt{\frac{\tau \cdot P (100 - B_{исх.})}{\eta_0 \cdot \rho' \cdot t_{о.б.} \cdot R'}} \cdot \left(\frac{100 - B_k}{B_{исх.} - B_k} \right); \quad (5.25)$$

где $B_{исх.}$ – влажность исходного осадка, %;

B_k – влажность обезвоженного осадка (кека), %;

τ – время действия вакуума от общего времени фильтроцикла, %.

Время действия вакуума можно найти по формуле

$$\tau = \frac{t_{о.б.}}{t_{вак.}} \cdot 100, \quad (5.26)$$

где $t_{о.б.}$ – время одного оборота барабана вакуум-фильтра, мин;

$t_{вак.}$ – время действия вакуума, мин; ρ – плотность осадка, т/м³;

P – вакуум, при котором происходит фильтрование, мм. рт. ст.;

ρ' – плотность фильтрата, т/м³; η_0 – вязкость фильтрата, спз;

R – общее сопротивление осадка фильтрованию, см/г; $R = r \cdot 10^{-10}$.

Производительность вакуум-фильтра (или лабораторной воронки) можно определять путём фактического замера массы кека. В таком случае производительность вакуум-фильтра по сухому веществу следует находить по формуле, кг/(м²·ч):

$$L = \frac{G_k \cdot (100 - B_k)}{100 \cdot F \cdot t}, \quad (5.27)$$

здесь G_k – масса кека, кг; F – площадь фильтра (или лабораторной воронки), м²;

t – продолжительность фильтроцикла лабораторной воронки или продолжительность обезвоживания осадка (при отборе массы кека G_k), ч.

В ряде случаев производительность вакуум-фильтра по сухому веществу определяют через замеренный объём фильтрата. Если изменён объём исходного осадка $V_{исх.}$ при исходной влажности $B_{исх.}$ и объём фильтрата $V_{ф.}$, то согласно существующей зависимости можно записать

$$V_{исх.}(100 - B_{исх.}) = V_{к}(100 - B_{к}) \quad \text{или} \quad (5.28)$$

$$V_{исх.}(100 - B_{исх.}) = (V_{исх.} - V_{ф.})(100 - B_{к}) \quad (5.28a)$$

где $V_{к}$ – объём кека.

После преобразования зависимости (5.28a), получим

$$V_{исх.} = \frac{V_{ф.}(100 - B_{к})}{B_{исх.} - B_{к}}. \quad (5.29)$$

Производительность вакуум-фильтра по сухому веществу осадка можно выразить через количество обезвоженного осадка:

$$L = \frac{V_{исх.}(100 - B_{исх.}) \cdot \rho}{100 \cdot F \cdot t} \quad \text{или} \quad (5.30)$$

$$L = \frac{V_{ф.}(100 - B_{исх.})(100 - B_{к}) \cdot \rho}{100 \cdot F \cdot t \cdot [(100 - B_{к}) - (100 - B_{исх.})]}. \quad (5.31)$$

Порядок выполнения работы

1. В лабораторной тетради вычертить лабораторную установку для определения производительности вакуум-фильтра, показанную на рис. 5.5.

2. Исходный или предварительно обработанный коагулянт осадок после тщательного перемешивания налить в бачок 1 (рис. 5.5), либо в фильтровальную воронку 2, расположенную вертикально вверх свободным отверстием.

3. После размещения воронки 2 с замоченной фильтровальной тканью в осадок (при рабочем положении) медленно открыть кран 3 и поддерживать постоянно вакуума.

4. Продолжительность фильтрации от фильтроцикла принять 33 %, сушку осадка – 50 % и отдувку – 17 %. Продолжительность отдувки осадка должна составлять не менее половины продолжительности фильтрации осадка.

При исследовании производительности вакуум-фильтра на лабораторной воронке отдувку осадка не производить, а время фильтрации и сушки принимать по заранее составленной табл. 5.6.

Таблица 5.6

Продолжительность фильтрации и сушки осадка при различной продолжительности фильтроцикла

Номер опыта	Продолжительность фильтроцикла, мин	в том числе продолжительность, мин		
		фильтрации	сушки	отдувки осадка
1	3'30" (210 с)	1'09" (69 с)	1'45" (105 с)	0'36" (36 с)
2	4'20" (260 с)	1'25" (85 с)	2'10" (130 с)	0'45" (45 с)
3	5'50" (350 с)	1'55" (115 с)	2'56" (176 с)	0'59" (59 с)

При работе воронки (положение вниз, т.е. при расположении в бачке 1) время фильтрации фиксировать секундомером. За время фильтрации на фильтроткани образуется кека. После установленного времени фильтрации воронку следует вынуть из бачка 1 и установить фильтровальной поверхностью вверх и подсушить осадок в течение установленного времени (см. табл.5.6), после чего действия вакуума отключить краном 3.

Для получения достоверных данных после каждого опыта воронку и фильтроткань необходимо тщательно промыть в чистой тёплой воде, а далее можно переходить к следующему опыту.

При проведении опытов с приподнятой воронкой действие вакуума следует увеличивать на продолжительность подсушки осадка, но чтобы при этом не появились трещины в осадке.

5. Толщину кека, образовавшегося на фильтровальной ткани, измерить металлической линейкой с делениями. Затем обезвоженный осадок снять со всей площади фильтрации, взвесить и найти его массу, а потом определить влажность и, при необходимости контроля, измерить объём уплотнённого обезвоженного осадка. Результаты опытов занести в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Результаты опытов на лабораторной воронке

Но- мер опы- та	Характеристика исходного осадка			Доза коагулянта, %, сухого вещества осадка с коагулянт-ом	Удельное сопротивление осадка после коагуляции $r_{oc} \cdot 10^{-10}$, см/г	Режим фильтрации	
	влаж- ность $B_{исх.}$, %	плот- ность ρ , т/м ³	удельное сопротив- ление $r \cdot 10^{-10}$, см/г			время филт- роцикла t , мин.	вакуум P , мм.рт. ст.
1							
2							
3							

Продолжение табл. 5.7

Характеристика кека			Производительность L , кг/(м ² ·ч)	
толщина кека h_k , мм	масса кека G_k , кг	объём кека V_k , см ³	расчётная по формуле (5.24)	фактическая по формуле (5.27) или (5.31)

Оформление работы

1. По результатам лабораторных измерений следует определить производительность вакуум-филтра, включая в продолжительность фильтроцикла время фильтрации, подсушивания и отдувки осадка.

Расчётные значения параметров, характеризующих свойства осадка, определять по формулам, приведённым в лабораторной работе № 5.2:

- массу исходного осадка по формуле (5.20);
- плотность осадка по формуле (5.21);
- влажность осадка, %, по формуле

$$V_{\text{исх.}} = \frac{M_{\text{вод.}}}{M_{\text{ос.}}} \cdot 100 = \frac{M_{\text{ос.}} - M_{\text{сух.о.}}}{M_{\text{ос.}}} \cdot 100 \quad ; \quad (5.32)$$

- концентрацию твёрдой фазы осадка по формуле (5.23);
- влажность кека, %, по формуле

$$V_{\text{к}} = 100 - \left[\frac{V_{\text{исх.}}}{V_{\text{к}}} \cdot (100 - V_{\text{исх.}}) \right], \quad (5.33)$$

где $V_{\text{исх.}}$ – объём исходного осадка (до фильтрации);

$V_{\text{к}}$ – объём кека (т.е. того же осадка, но после фильтрации).

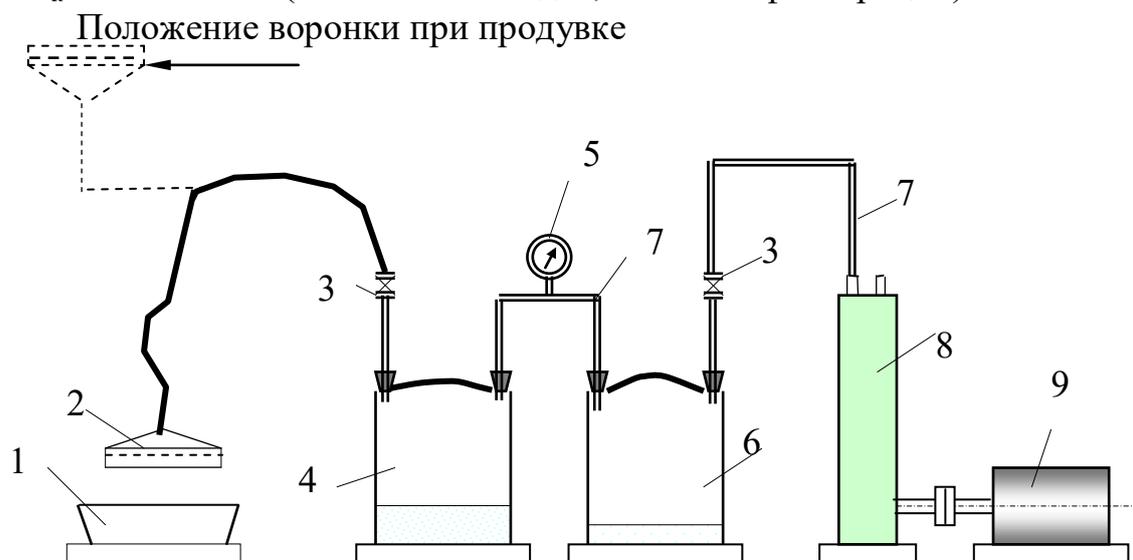


Рис. 5.5 Лабораторная установка для определения производительности фильтра:

- 1 – бачок для осадка; 2 - фильтровальная воронка (модель вакуум-фильтра); 3 – запорные краны или зажимы; 4 - ёмкость для фильтрата; 5 – вакуумметр; 6 - ресивер; 7 - вакуумный шланг; 8 – вакуум-насос; 9 – электродвигатель

2. После получения технологических параметров необходимо найденные закономерности отразить письменно в выводах. Особенно следует подчеркнуть закономерность изменения производительности вакуум-фильтра в зависимости от исходной влажности осадка и кека, а также от количества и типа коагулянта.

3. Ответить письменно на все контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие технологические параметры фильтра и свойства осадков отрицательно сказываются на производительности вакуум-фильтра?

2. За счёт каких изменений параметров фильтра, технологических процессов и свойств исходных осадков можно добиться повышения производительности вакуум-фильтров?
3. В какой степени на производительность вакуум-фильтров влияют способы обработки осадков и степень их минерализации?
4. Какие дополнительные технологические процессы и конструктивные изменения вакуум-фильтров могут обеспечить снижение расхода электроэнергии при их работе и повысить их производительность?

Литература [3, с. 231-238]; [6, с. 96-108].

Библиографический список

1. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Химия воды и микробиология. – М.: Стройиздат, 1983. – 168 с.
2. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Контроль качества воды. – М.: Стройиздат, 1986. – 160 с.
3. Калицун В.И., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Алексеев Е.В. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 2000. – 272с.
4. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник/ Под ред. А.М. Курганова. 3-е изд. перераб. и дп. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
5. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения/ Госстрой СССР – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.
6. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.
7. Федоров Н.Ф. Новые исследования и гидравлические расчеты канализационных сетей. – М.: Стройиздат. – 258с.
8. Федоров Н.Ф., Курганов А.М., Алексеев М.И. Канализационные сети. Примеры расчета. Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 223 с.
9. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация. Изд. 5-е. – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.
10. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Калицун В.И. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: Стройиздат, 1996. – 591 с.
11. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. – М.: Химия, 1966. – 280 с.

Приложение 1

Определение концентрации взвешенных веществ, сухого остатка и беззольного вещества [11]

В сточной воде обычно, кроме истинно растворённых веществ, также содержатся коллоидные и суспендированные (взвешенные) частицы различной степени дисперсности. О степени дисперсности можно составить представление по внешнему виду исследуемой воды, который характеризуют словами: «вода мутная», «вода опалесцирует», «вода содержит грубую взвесь».

Опалесцирующей называют воду прозрачную в проходящем свете, но мутную в отражённом свете; *мутной* называют воду, непрозрачную и в проходящем свете; отдельные взвешенные частицы в ней неразличимы невооружённым глазом, и при отстаивании в течение 5-6 ч взвешенные частицы из раствора не выделяются; *грубой взвесью (или взвешенными веществами)* называют частицы, заметные невооружённым глазом, более или менее полно выделяющиеся из раствора при отстаивании его в течение 5-6 ч.

Количественное определение грубодисперсных примесей следует, по возможности, проводить тотчас после отбора пробы, лишь в исключительных случаях применяя консервацию пробы. Для определения примесей их отделяют от воды, фильтруя последнюю через различные пористые материалы – бумажные и мембранные фильтры, стеклянные фильтрующие пластинки. Поскольку размеры пор в этих материалах различны, определение взвешенных веществ в одной и той же воде (но с применением разных фильтров) может привести к различным результатам и само понятие «количество взвешенных веществ» становится неопределённым. Поэтому рекомендуется всегда указывать, через какой фильтрующий материал проводилось фильтрование.

Таблица П.1.1

Наибольшие размеры частиц, проходящие через различные фильтры

Наименование фильтра	Размер частиц, мк
Стеклянная фильтрующая пластинка № 1	100 – 110
№2	40-50
№3	20-30
№4	5-10
Слой асбеста (в тигле Гуча)	около 8
Фильтровальная бумага: средней плотности (белая лента)	10-20
плотная (синяя лента)	3-5
особо плотная	1,5
Мембранные фильтры: №№1-5 «бактериологические»	0,35-1,2
№ 6 «предварительный»	1,3-1,4

Наиболее полно отделяют взвешенные вещества мембранные фильтры. Эти фильтры негигроскопичны, фильтрование через них происходит быстро.

Сточная вода – это обычно двухфазная система: чаще всего суспензия, реже эмульсия. Объектом анализа может быть вся система в целом или только её водная фаза – прозрачный раствор. Это зависит от цели, с которой проводят анализ, и от того, какой компонент сточной воды подлежит определению.

Если сточную воду анализируют с целью разработки метода её очистки или расчёта расхода необходимых для очистки реагентов, то знать состав водной фазы необходимо. Когда очистка сточных вод состоит в *осаждении* вредных её компонентов, то реагент естественно расходуется только на связывание ионов, а не на те их соединения, которые присутствуют в сточной воде в виде осадка. Определение присутствия элементов в мутной воде без предварительного её фильтрования ввело бы исследователя в заблуждение.

Если очистка сточной воды состоит в *окислении* вредных примесей. То в большинстве случаев расход реагента на воду с осадком значительно превышает его расход на предварительно отстоянную воду, и всегда приходится решать, что целесообразнее в каждом конкретном случае: проводить сначала отстаивание, а потом обработку окислителем отстоявшейся жидкости или подвергать действию окислителя всю сточную воду без разделения её фаз. Чтобы решить эту задачу, надо знать состав обеих фаз – жидкой и твёрдой в отдельности.

Анализ сточной воды (очищенной или неочищенной) перед спуском её в систему водоотведения или водоём должен охватывать жидкую и твёрдую фазы.

Определение концентрации взвешенных веществ фильтрованием через беззольный бумажный фильтр

Оборудование: беззольный фильтр средней плотности; бюксы; сушильный шкаф; эксикатор; аналитические весы.

Порядок выполнения работы

Беззольный фильтр средней плотности (белую ленту) поместить в бюксы (каждый фильтр в отдельный бюкс) и высушить с открытыми крышками в течение 2 ч при 105⁰С. Затем охладить бюксы в эксикаторе и, закрыв их крышками, взвесить на аналитических весах.

Через подготовленный фильтр пропустить 100-1000 мл анализируемой сточной воды (в зависимости от содержания в ней взвешенных веществ). Оставшийся на стенках стакана или колбы осадок смыть небольшой порцией фильтрата в воронку, через которую вели фильтрование.

Фильтр поместить в тот же бюкс, в котором его взвешивали до фильтрования. Высушить 2 ч при 105⁰С, охладить в эксикаторе и, закрыв бюкс крышкой, снова взвесить.

Высушивание, охлаждение и взвешивание повторить до достижения постоянной массы.

Оформление работы

Содержание взвешенных веществ (x), мг/л, вычислить по формуле

$$x = \frac{a - b}{V} 1000,$$

где a- масса фильтра с осадком, мг; b – масса фильтра без осадка, мг; V – объём профильтрованной анализируемой воды, мл.

Остаток после прокаливания (сухой остаток) характеризует содержание минеральных и частично органических примесей, а именно тех, температура кипения которых заметно превышает 105 °С, нелетучих с водяным паром и не разлагающихся при указанной температуре.

Для определения остатка после прокаливания взвешенных веществ взять тигельные щипцы или пинцет и очень осторожно сжигать над фарфоровым тиглем (предварительно прокалённым и взвешенным).

Золу прокалить в течение 5-20 мин в том же тигле.

Содержание прокалённых взвешенных веществ (x), мг/л, вычислить по формуле

$$x = \frac{c - d}{V} 1000,$$

где c- масса тигля с золой, мг; d – масса пустого тигля, мг; V – объём профильтрованной анализируемой воды, мл.

Беззольное вещество даёт представление о минеральном составе сточной воды.

Для определения беззольного вещества чашку с сухим остатком осторожно прокалить при T=800 °С. Охладить в эксикаторе и взвесить. Прокаливание повторять до постоянной массы.

Расчет беззольного вещества, мг/л, выполнить по формуле

$$x = \frac{a - b}{V} 1000,$$

где a- масса чашки с беззольным веществом, мг; b – масса пустой чашки, мг; V – объём анализируемой сточной воды, мл.

Биохимическое потребление кислорода (БПК)

Биохимическим потреблением кислорода сточной воды (БПК) называется количество кислорода, выраженное в миллиграммах, требуемое для полного окисления всех находящихся в 1 л сточной воды органических веществ в аэробных условиях, в результате происходящих в воде биологических процессов. Биохимическая потребность в кислороде не включает расхода кислорода на нитрификацию.

Определяют или полное биохимическое потребление кислорода (БПК_{полн}), для чего процесс ведут до начала нитрификации (обычно 20 суток), или пятисуточное потребление кислорода (БПК₅), и ведут пересчёт на БПК_{полн}.

Метод определения БПК состоит в следующем. Исследуемую сточную воду после двухчасового отстаивания разбавляют чистой водой, взятой в таком количестве, чтобы содержащегося в ней кислорода с избытком хватило для полного окисления органических веществ в сточной воде. Определив содержание растворённого кислорода в полученной смеси, её оставляют в закрытой склянке на 2, 3, 5, 10 (и так далее) суток (период инкубации, который длится до начала явной нитрификации), определяя содержание кислорода по истечении каждого из перечисленных выше периодов времени. Уменьшение количества кислорода в воде показывает, сколько его за это время израсходовано на окисление органических веществ, находящихся в сточной воде. Это количество, отнесённое к 1 л сточной воды, и является биохимическим потреблением кислорода сточной водой за данный промежуток времени (БПК₂, БПК₃, БПК₅, БПК₁₀ и т.д.).

Оборудование и реактивы

Разбавляющая вода. Для разбавления сточной воды надо пользоваться специально для этого приготовленной «разбавляющей» водой, не содержащей едких щелочей, кислот, «активного хлора» и других бактерицидных веществ. БПК такой воды должно быть очень незначительным. Разбавляющую воду готовят из дистиллированной воды, которая должна содержать меди и свинца не более 0,01 мг/л (ионы этих металлов могут попасть в дистиллированную воду из материала стенок перегонного куба или холодильника).

Для приготовления разбавляющей воды к 1 л дистиллированной воды прибавляют по 1 мл следующих четырёх растворов:

а) *фосфатный буферный раствор.* В 500 мл дистиллированной воды растворяют 8,5 г KH_2PO_4 ; 21,75 г K_2HPO_4 ; 33,4 г $\text{NaHPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,7 г NH_4Cl и раствор разбавляют до 1 л. Величина pH этого раствора должна быть равна 7,2;

б) *раствор сульфата магния.* В дистиллированной воде растворяют 22,5 г $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и разбавляют раствор водой до 1 л;

в) *раствор хлорида кальция.* В дистиллированной воде растворяют 27,5 г безводного хлорида кальция и разбавляют раствор водой до 1 л;

г) *раствор хлорида железа трёхвалентного.* В дистиллированной воде растворяют 0,25 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и разбавляют водой до 1 л.

После прибавления солей воду перемешивают, но не аэрируют. Непосредственно перед применением воды в неё вводят культуру микроорганизмов в количестве 1 мл на 1 л разбавляющей воды. Разбавляющая вода при комнатной температуре должна содержать 8-9 мг/л растворённого кислорода, БПК этой воды определяют одновременно с определением БПК анализируемой пробы, как описано ниже.

Хлорид марганца, $\text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ насыщенный раствор (73,9 г $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 100 г воды), или *сульфат магния*, насыщенный раствор (62,9 г $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 100 г воды).

Иодид калия, щелочной раствор. Растворяют 700 г едкого кали или 500 г едкого натра в таком количестве дистиллированной воды, чтобы объём раствора не превысил 800 мл, дают осадку карбоната собраться на дне колбы и прозрачную жидкость сливают в другую колбу. Небольшую порцию раствора испытывают на содержание нитритов. В случае присутствия нитритов переносят весь раствор в фарфоровый стакан, прибавляют 1 г сплава Дебарда (50 % меди, 45 % алюминия, 5 % цинка), нагревают до кипения и кипятят 1 ч. После охлаждения, отобрав небольшую порцию раствора и подкислив её, проверяют, удалены ли нитриты полностью.

Отдельно в небольшом количестве воды растворяют 150 г иодида калия, не содержащего иодата калия. Растворы иодида калия и едкой щелочи сливают вместе и разбавляют дистиллированной водой до 1 л.

Реактив после подкисления не должен окрашиваться в синий цвет при добавлении к нему крахмала.

Серная кислота, 1,48 /см³.

Тиосульфат натрия, 0.01 нормальный раствор.

Крахмал, 0.5-процентный раствор.

Едкий натр, 1 нормальный раствор.

Серная кислота, 1 нормальный раствор.

Бромтимоловый синий.

Сульфит натрия, 0,02 нормальный раствор.

Порядок выполнения работы

Предварительная обработка

Некоторые воды требуют предварительной обработки:

а) сточные воды, содержащие кислоты или едкие щелочи, должны быть предварительно нейтрализованы до $\text{pH} \approx 7$ добавлением соответственно 1 н. раствора натра или 1 н. раствора серной кислоты. Необходимый для нейтрализации объём реактива находят, титруя отдельную порцию сточной воды по бромтимоловому синему;

б) при определении БПК очищенной сточной воды, подвергавшейся обработке хлором или хлорной известью, следует предварительно удалить избыток «активного хлора».

Часто для этого достаточно дать воде постоять в течение 1-2 ч. При более высоком содержании избыточного «активного хлора» следует провести восстановление его сульфитом натрия. Для того чтобы найти требуемое количество последнего, отбирают отдельную порцию сточной воды, прибавляют к ней 10 мл 10-процентного раствора иодида калия, подкисляют раствор, приливают раствор крахмала и оттитровывают выделившийся йод 0,02 н. раствором сульфита натрия.

Предварительное разбавление воды

Необходимое разбавление можно ориентировочно рассчитать по результату определения окисляемости хроматным методом следующим путём. Величину

окисляемости, выраженную в миллиграммах кислорода на 1 л, делят на 4 или 5 (величина, соответствующая примерно половине содержания кислорода в чистой разбавляющей воде). Полученный результат показывает, во сколько раз надо разбавить анализируемую воду.

При исследовании воды с неизвестным БПК рекомендуется ставить опыты с несколькими разбавлениями (от 1:10 до 1:10 000 и больше).

Примечание. Мерные колбы для разбавления и склянки для инкубации следует обезжирить хромовой смесью, тщательно промыть и пропарить, так как даже очень малое загрязнение при больших разбавлениях вызывает резкое увеличение БПК.

Разбавление проводят следующим путём. В мерную колбу ёмкостью 100, 500 или 1000 мл наливают посредством сифона (чтобы в колбу не попадали пузырьки воздуха) разбавляющую воду до половины колбы, прибавляют точно отмеренное пипеткой количество исследуемой воды (например, 10 мл) и доливают до метки разбавляющей водой. Колбу закрывают пробкой и её содержимое тщательно перемешивают несколько раз. Если требуется большее разбавление, то из полученного объёма жидкости опять отбирают пипеткой отмеренное количество жидкости и таким же путём разбавляют до 1 л в другой колбе. Это приходится иногда повторять несколько раз (при анализе сильно загрязнённых вод), пока введённого с разбавляющей водой кислорода не будет достаточно на всё время инкубации. При разбавлении необходимо следить за тем, чтобы разбавляющая вода и полученная в результате разбавления смесь имели температуру 18-20 °С, а $8.3 \geq \text{pH} \leq 7.5$.

Правильность разбавления контролируют следующим образом. После всего периода инкубации концентрация кислорода в жидкости должна быть не меньше 3-4 мл/л и потребление кислорода за всё время инкубации должно быть также не меньше 3-4 мл/л.

Ход определения

1. Разбавленную предварительно сточную воду разлить сифоном в шесть калиброванных склянок ёмкостью 130-200 мл для инкубации, наполняя их доверху, и закрыть притёртыми пробками так, чтобы под пробками не оказалось пузырьков воздуха.
2. Налить эту же воду в колпачки от склянок и, перевернув склянки кверху дном, вставить их в колпачки, вытесняя из последних воду так, чтобы пузырьки воздуха не попали в колпачки. После этого поставить склянки в нормальное положение.
3. Так же наполнить другие калиброванные склянки одной разбавляющей водой (контрольный опыт). Следовательно, всего должно быть 12 склянок.
4. В одной из шести склянок с испытуемой водой и в одной из склянок с разбавляющей водой сразу же определяют растворённый кислород (методу см. ниже).

5. Остальные пять склянок с испытуемой водой и пять склянок с контрольной разбавляющей водой поместить в термостат и держать в нём при 18-20°C, в течение 2, 3, 5, 10 и 20 суток.
6. Через двое суток (и затем через 3, 5, 10 и 30 суток от начала инкубации) извлечь из шкафа по одной склянке с испытуемой водой и по одной склянке с контрольной пробой (содержащей только разбавляющую воду) и определить в них содержание нитритов и кислорода.

Нитриты определять в воде, налитой в колпачок склянки, который снять так же, как надевали, т.е. перевернуть склянку вверх дном. Если в пробе начался процесс нитрификации, что обнаруживается по появлению в воде нитритов в концентрации, превышающей 0.1 мг/л, то дальнейшее определение БПК (для большего времени инкубации) не проводить.

Определение содержания растворённого кислорода

А. Анализируемая вода не содержит окисляемых йодом веществ (сульфитов, тиосульфатов, полиитионатов, органических веществ реагирующих с йодом, и. т.п.).

1. Вынув из склянки притертую стеклянную пробку, опустить в жидкость пипетку, содержащую насыщенный раствор соли марганца, чуть ниже уровня жидкости в склянке и влить 1 мл.
2. Тем же способом ввести в склянку 1 мл щелочного раствора иодида калия. Поскольку обе эти жидкости имеют большую плотность, они опускаются на дно склянки. Затем в склянку вставить стеклянную пробку, при этом из склянки вылить 2 мл испытуемой воды, т.е. столько, сколько влили в склянку реактивов. На эту потерю при расчёте ввести соответствующую поправку.
3. Закрытую пробкой склянку несколько раз перевернуть вверх дном и обратно для перемешивания её содержимого.
4. Чтобы не загрязнить всего запаса реактивов, рекомендуем набирать их пипеткой не прямо из сосудов, где они хранятся, а отлив небольшие порции в отдельные маленькие мензурки или склянки.

При добавлении к анализируемой пробе соли марганца и едкой щелочи образуется осадок гидроокиси марганца, которая, окисляясь растворённым в воде кислородом, превращается в марганцоватистую кислоту



также нерастворимую в воде. Осадку дать собраться на дне склянки, затем в склянку влить 1 мл серной кислоты, немедленно закрыть склянку пробкой (при этом выливается 1 мл прозрачной жидкости, пусть это вас не беспокоит) и, перевернув склянку, хорошо перемешать её содержимое. Осадок растворяется согласно формуле химической реакции:



5. Когда весь осадок растворится, перенести количественно жидкость в коническую колбу ёмкостью 500 мл и оттитровать выделившийся йод раствором тиосульфата натрия, прибавляя в конце титрования 1 мл раствора крахмала.

Примечания.

1. Время между прибавлением соли марганца и щёлочи и растворением осадка в кислоте должно быть по возможности коротким.
2. При содержании в анализируемой пробе больших количеств железа (больше 1 мг/л) в жидкость до подкисления прилить 2 мл раствора фторида калия (40 г $KF \cdot 2H_2O$ растворяют в 100 мл дистиллированной воды).
3. Когда в пробе появляются нитриты (в последний период инкубации), тотчас же после растворения осадка марганцоватистой кислоты в колбу для титрования прибавить 1 г бикарбоната натрия и оттитровать выделившийся йод тиосульфатом натрия.
6. Разность в содержании кислорода в жидкости, определённого в первый день и после инкубации (с учётом разбавления), показывает потребление кислорода сточной водой соответственно за 2, 3, 5, 10 и 20 суток.

Часто ограничиваются определением БПК₅. Однако пятисуточное потребление кислорода не характеризует всей потребности в кислороде сточной воды, поэтому для полной характеристики необходимо определять БПК₂, БПК₃, БПК₅, БПК₁₀ и так до начала нитрификации.

Расчёт БПК

1. Для расчёта, например двухсуточного потребления кислорода сначала вычислить БПК_{2р.в.} разбавляющей воды (БПК_{2р.в.}) в мг/л по формуле

$$\text{БПК}_{2р.в.} = \left[\frac{a_1}{V_1 - 2} - \frac{a_2}{V_2 - 2} \right] \cdot K \cdot 0,08 \cdot 1000,$$

где a_1 - объём 0,01 н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование жидкости при определении содержания в ней кислорода до инкубации, мл;

a_2 - то же, после инкубации в течение двух дней;

V_1 - ёмкость склянки, в которой проводилось определение кислорода до инкубации, мл;

V_2 - ёмкость склянки, в которой проводилось определение кислорода после инкубации, мл;

K - поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора тиосульфата натрия к точно 0,01 н.;

0,08 - соответствует 0,01 г-экв. кислорода;

2 - объём реактивов (кроме кислоты), прибавляемых в склянку при определении кислорода, мл.

2. Вычислить БПК₂ анализируемой пробы, мг/л, по формуле

$$\text{БПК}_2 = \left[\left(\frac{a_1}{V_1 - 2} - \frac{a_2}{V_2 - 2} \right) \cdot K \cdot 0.08 \cdot 1000 - \text{БПК}_{2\text{р.в.}} \right] \cdot \frac{1000}{b},$$

где b – объём сточной воды, мл, взятой для анализа и разбавленной затем в мерной колбе до 1 л. Если разбавление до 1 л проводилось многократно, то коэффициент $1000/b$ соответственно увеличивается.

Б. Анализируемая вода содержит окисляемые йодом вещества. В этом случае рекомендуется так называемый «метод йодной пробы».

Число склянок для определения должно быть удвоено (см. п. А), так как для каждого определения кислорода (в начале проведения опыта и после инкубации в течение различного времени) требуется два раствора.

1. В обе склянки с раствором внести пипеткой по 2-4 мл 0,01 н. раствора йода в насыщенном растворе хлорида натрия, закрыть склянки пробками, взболтать их содержимое и оставить в тёмном месте на 5 мин.
2. Вынуть пробки (оба раствора должны сохранить желтую окраску от избытка йода) и снести сначала в оба раствора по 1 мл щелочного раствора иодида калия и затем в одну склянку 1 мл раствора хлорида марганца, а в другую – 1 мл дистиллированной воды.
3. Вынуть пробки (оба раствора должны сохранить желтую окраску от избытка йода) и снести сначала в оба раствора по 1 мл щелочного раствора иодида калия и затем в одну склянку 1 мл раствора хлорида марганца, а в другую – 1 мл дистиллированной воды.
4. Вынуть пробки (оба раствора должны сохранить желтую окраску от избытка йода) и снести сначала в оба раствора по 1 мл щелочного раствора иодида калия и затем в одну склянку 1 мл раствора хлорида марганца, а в другую – 1 мл дистиллированной воды.
5. Результаты рассчитать, как написано в п. А, но вычесть из ёмкости склянки не 2 мл, а сумму объёмов всех прибавленных реактивов, включая объём раствора йода.

Химический состав минеральной части осадков [6, с.8]

Содержание*, %	Тип осадка		
	Из первичных отстойников	Активный ил	Сброженная смесь осадка первичных отстойников и активного ила
SiO ₂	21,4 – 55,9	17,6 – 33,8	27,3 – 35,7
Al ₂ O ₃	0,3 – 18,9	7,3 – 26,9	8,7 – 9,3
Fe ₂ O ₃	3,0 – 13,9	7,2 – 18,7	11,4 – 13,6
CaO	11,8 – 35,9	8,9 – 16,7	12,5 – 15,6
MgO	2,1 – 4,3	1,4 – 11,4	1,5 – 3,6
K ₂ O	0,7 – 3,4	0,8 – 3,9	1,8 – 2,8
Na ₂ O	0,8 – 4,2	1,9 – 8,3	2,6 – 4,7
SO ₃	1,8 – 7,5	1,5 – 6,8	3,0 – 7,2
ZnO	0,1 – 0,6	0,2 – 0,3	0,1 – 0,3
CuO	0,1 – 0,8	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3
NiO	0,2 – 2,9	0,2 – 3,4	0,2 – 1,0
Cr ₂ O ₃	0,8 – 3,1	0 – 2,4	1,3 – 1,9

*Помимо приведённых, в осадках сточных вод содержится ряд других соединений и микроэлементов.

Зависимость удельного сопротивления сырых осадков первичных отстойников от характерных особенностей сточных вод

Характерная особенность городских сточных вод	Влажность осадка, %	Удельное сопротивление $\text{г} \cdot 10^{-10}$, см/г
Преобладают производственные сточные воды машиностроительных и металлургических заводов	91 – 96	50 – 300
Преобладают бытовые сточные воды	94 – 97	150 – 400
Преобладают производственные сточные воды заводов синтетического каучука	92 – 95	200 – 400
Преобладают производственные сточные воды текстильных предприятий	95 – 97	300 – 700
Преобладают (более 50 %) производственные сточные воды разнообразных промышленных предприятий	93 – 96	300 – 1000

Удельные сопротивления осадков сточных вод городских станций
(по данным И.С. Туровского, 1982 г.)

Тип осадка	Влажность, %	Удельное сопротивление $r \cdot 10^{-10}$, см/г
Сырой осадок первичных отстойников		
Тушинская станция аэрации (Москва)	93,1 – 97,7	50 – 220
Кунцевская станция аэрации (Москва)	91,2 – 93,3	30 – 300
Станция аэрации г. Череповца	94,2 – 95,4	90 – 220
Харьковская биостанция	91 – 93,5	150 – 180
Станция аэрации г. Октябрьского Баш. АССР	91 – 95	85 – 250
Очистная станция г. Твери	94,8 – 96,7	150 – 290
Станция аэрации г. Сочи	94,8 – 96,6	200 – 330
Челябинская канализационная станция	90,2 – 93,3	220 – 380
Станция аэрации г. Тольятти	92 – 95	200 – 400
Калининградская станция аэрации	89 – 92	460 – 500
Полупроизводственная установка г. Иванова	96,1	690
Люблинская станция аэрации (Москва)	92,5 – 96	200 – 900
Люберецкая станция аэрации (Москва)	93,5 – 94	700 – 900
Курьяновская станция аэрации (Москва)	92,7 – 93,4	460 – 990
Сброженный осадок первичных отстойников в мезофильных условиях		
Кунцевская станция аэрации (Москва)	92,3 – 95,2	350 – 1800
Полупроизводственная установка г. Иванова	96,3	740
Челябинская канализационная станция	95,1 – 95,7	590 – 1140
Сырой активный ил		
Станция аэрации г. Бреста	97	2370
Станция аэрации г. Тольятти	98 – 94,5	160 – 370
Тушинская станция аэрации (Москва)	99,4 – 97,6	150 – 1700
Филёвская станция аэрации (Москва)	99,6 – 99	420 – 1795
Кунцевская станция аэрации (Москва)	99,4 – 97,6	75 – 2240
Люблинская станция аэрации (Москва)	99,8 – 96,2	135 – 4200
Курьяновская станция аэрации (Москва)	97,2 – 96,5	720 – 7860
Люберецкая станция аэрации (Москва)	97,8	2600
Кожуховская станция аэрации (Москва)	98 – 95	410 – 900
Смесь первичного осадка и активного ила		
Станция аэрации г. Октябрьского Баш. АССР	93 – 96,5	200 – 660
Станция аэрации г. Череповца	94 – 96	500 – 950
Станция аэрации г. Бреста	93 – 96	536 – 990
Станция аэрации г. Орехово-Зуева	95,2 – 97,1	380 – 1240

Тип осадка	Влажность, %	Удельное сопротивление $r \cdot 10^{-10}$, см/г
Сброженный в мезофильных условиях первичный осадок		
Люблинская станция аэрации (Москва)	96,8 – 98	1280 – 6240
Курьяновская станция аэрации (Москва)	96,7 – 97,3	3800 – 6750
Калининградская станция аэрации (Мос. обл.)	89,7 – 94,8	1806 – 25800
Станция аэрации г. Сочи	97,0 – 97,6	520 – 674
Станция аэрации г. Могилёва	96,0 – 96,9	1600 – 2000
Кунцевская станция аэрации (Москва, лабораторные модели)	92,7 – 98,2	926 – 1992
Сброженный в термофильных условиях первичный осадок		
Станция аэрации г. Череповца	96,0 – 97,0	1400 – 1880
Курьяновская станция аэрации (Москва)	95,9 – 97,8	3958 – 9500
Люберецкая станция аэрации (Москва)	96,8 – 97,7	4920 – 10000
Осадки производственных сточных вод		
Шлам, полученный при нейтрализации травильных растворов (H_2SO_4) известью	63,1 – 89,8	2,9 – 6,5
Шлам, полученный при нейтрализации гальванических стоков известью	95,5 - 97	15 – 45
Осадок Московского автомобильного завода им. И.А. Лихачёва	94 - 97	40 – 130
Осадок Московского кожевенного завода им. Э. Тельмана	58,3 – 92,7	47 – 54
Осадок Кунцевского кожевенного завода	81,7 – 95,1	130 – 226
Уплотнённый активный ил очистных сооружений Омского завода синтетического каучука	94,4 – 97,5	55 - 90

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.	3
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	3
Общие методические принципы проведения лабораторных работ	3
Обработка опытных данных и оценка точности измерений	4
Оформление лабораторной работы.	6
Отчёт по лабораторной работе	6
 ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД	 6
Лабораторная работа № 1.1	
Анализ изменения концентрации загрязнений в сточных водах в зависимости от степени благоустройства зданий в населенных пунктах	8
 ТЕМА 2. ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД	 11
Лабораторная работа № 2.1	
Изучение основных свойств осадка.	13
Лабораторная работа № 2.2	
Изучение изменений объема осадка в зависимости от его влажности	15
 ТЕМА 3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД	 17
Лабораторная работа № 3.1	
Определение коэффициента объемного использования отстойной зоны при впуске воды в отстойник из-под щита	18
Лабораторная работа № 3.2	
Определение коэффициента объемного использования отстойной зоны при впуске воды в отстойник через распределительное устройство в виде перфорированной перегородки	21

Лабораторная работа № 3.3	
Определение кинетики осаждения взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах, в состоянии покоя	23
Лабораторная работа № 3.4	
Оценка работы вертикального отстойника.	29
Лабораторная работа № 3.5	
Изучение работы тонкослойного отстойника.	33
ТЕМА 4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД	37
Лабораторная работа № 4.1	
Оценка наиболее характерных технологических параметров аэротенка	39
ТЕМА 5. ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД	44
Лабораторная работа № 5.1	
Оценка сбраживания осадков в моделях метантенков	45
Лабораторная работа № 5.2	
Определение удельного сопротивления осадка при фильтрации	52
Лабораторная работа № 5.3	
Определение производительности вакуум-фильтра	58
Библиографический список.	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Определение концентрации взвешенных веществ, сухого остатка и беззольного вещества.	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Химический состав минеральной части осадков	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Зависимость удельного сопротивления сырых осадков первичных отстойников от характерных особенностей сточных вод	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Удельные сопротивления осадков сточных вод городских станций	74

Виктор Филиппович Бабкин
Владимир Дмитриевич Журавлев
Ирина Владимировна Журавлева

ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД
Лабораторный практикум

Учебное издание

Редактор Акритова Е.В.

ЛР № 020450 от 4.03.97 г. ПЛД № 37-049 от 3.11.98 г.
Подписано в печать 25.05.2002 г. Формат 60*84 ¹/₁₆.
Уч.-изд.л. 5.0. Усл. печ. 5.1. Бумага для множит. аппаратов.
Тираж 200 экз. Заказ № . С-18.

Отпечатано в типографии Воронежского гос. арх.-строит. университета
394006. Воронеж. ул. XX-летия Октября. 84.