

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 14.11.2022 15:29:14  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d705f1034637015780

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
Юго-Западный государственный университет  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 6 » 2021 г.



**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНАМ  
«ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ»,  
«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ»**

Методические указания к проведению лабораторных работ  
для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность

Курск 2021

УДК 628

Составитель Е.А. Преликова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.В. Беседин*

**Лабораторные работы по дисциплинам «Техника и технология защиты гидросферы», «Процессы и аппараты защиты гидросферы»:** методические указания к проведению лабораторных работ для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.А. Преликова. - Курск, 2021. - 39 с. Библиогр.: с. 39.

Приводятся методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Техника и технология защиты гидросферы», «Процессы и аппараты защиты гидросферы».

Предназначены для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2021 г. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 2,44 Уч.-изд.л. 2,05 Тираж 30 экз. Заказ 1049. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### СМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ ЗА СЧЁТ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ

#### ***Цель работы:***

- 1) ознакомиться с методикой ионного обмена;
- 2) произвести расчёт объема ионообменной смолы для фильтра с целью смягчения воды.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

***Ионный обмен*** – это способ водоподготовки, смягчения, опреснения и обессоливания воды, рекуперации ионных компонентов. Данная методика широко применяется и в промышленности, и в быту. Посредством ионного обмена концентрируются следовые количества определяемых веществ, рассчитывается суммарное солесодержание растворов, удаляются мешающие анализу ионы, происходит разделение компонентов сложных смесей. Ионный обмен используется для получения обессоленной и смягченной воды в таких отраслях как цветная металлургия, электронная промышленность, атомная и тепловая энергетика, пищевая отрасль, очистка сточных вод и др. В настоящее время благодаря методу ионного обмена ведутся активные работы, направленные на создание станций для извлечения ценных компонентов из океанских глубин.

Жесткость воде придают растворенные в ней соли магния и кальция, а ионный обмен регулирует их содержание и, соответственно, нормализует состав (рис. 1.1). В итоге минеральные соли жесткости заменяются на другие химические структуры, и вода сохраняет нужные свойства. Для проведения водоподготовки путем ионного обмена используются специальные фильтрующие устройства. Сначала их заполняют ионитами, а потом запускают воду. Вода просачивается сквозь ионообменный материал, в результате чего в ней большая часть ионов электролитов заменяется на иониты, изменяется химическая структура и жидкости, и реагента, уходит жесткость.



Рисунок 1.1 – Схема метода ионного обмена

В отличие от аэрации ионная очистка не приводит к выпадению солей жесткости в осадок, следовательно, устанавливать дополнительные фильтрующие устройства не требуется.

### ***Принципы и технология работы ионных смягчителей***

Самый популярный химический реагент, используемый для водоподготовки ионным способом – это специальная ионообменная смола. Она представляет собой твердое вещество неорганического происхождения с пористой структурой. В состав смолы входят различные функциональные добавки, которые и отвечают за протекание реакций ионного обмена. Форма выпуска – гранулы разных размеров (они являются произвольными). Если смола была получена в ходе полимеризации, она будет шаровидной, а если путем поликонденсации, то неправильной формы. При взаимодействии с водой смола набухает.

В процессе замены ионов солей жесткости смола постепенно утрачивает первоначальный состав, рабочие характеристики в ходе эксплуатации безвозвратно изменяются. Чтобы восстановить работоспособность реагента, обычно используется раствор обычной поваренной соли, реже – лимонная кислота. Восстановление солью не вернет смоле все первоначальные качества, поэтому со временем ионные фильтры требуется менять. При правильной и регулярной очистке вещества срок службы последнего составляет около трех лет.

### **Смягчение воды с помощью ионообменной смолы**

Ионообменная смола используется для смягчения воды, применяется в качестве фильтрующего наполнителя в картриджах

(рис. 1.2). В фильтрационных установках с картриджами восстановление смолы осуществляется строго вручную.

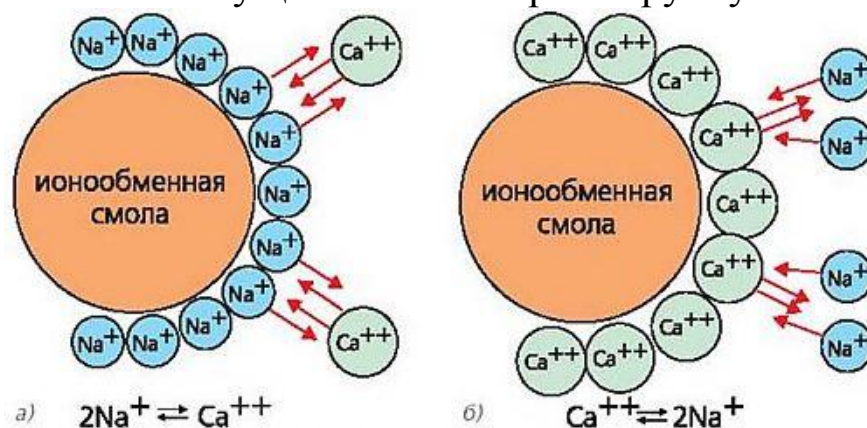


Рисунок 1.2 – Смягчение воды с помощью ионообменной смолы

Порядок действий по восстановлению ионообменной смолы:

1. перекрыть подачу воды в фильтр;
2. сбросить внутреннее давление;
3. достать картридж со смолой и промыть его под проточной водой;
4. высыпать смолу в отдельную посуду и покрыть соляным раствором (если картридж разбирается) или опустить в раствор картридж целиком;
5. раствор следует готовить из расчета 100 г соли на 1 литр воды, (в среднем требуется 2-4 л воды);
6. оставить смолу в растворе примерно на 6-8 часов;
7. слить раствор;
8. промыть смолу предварительно отфильтрованной чистой водой 2-3 раза.
9. установить картридж в исходное положение.

В первых литрах воды, пропущенных через только что очищенный фильтр, может ощущаться легкий вкус соли – это нормальное явление. В последствие данный привкус исчезнет.

**ПЛЮСЫ И МИНУСЫ ИОНООБМЕННОГО МЕТОДА**

К очистке ионообменным способом обычно прибегают в том случае, если нужно подготовить воду с высокой минерализацией – то есть около 100-200 мг солей на один литр. Ионообменные смягчители могут эффективно работать с очень высоким уровнем жесткости.

### *Достоинства:*

- Очень высокое качество очистки и смягчения воды.
- Снижение содержания в жидкости не только солей жесткости, но и других вредных веществ.
- Простота эксплуатации и обслуживания.

### *Недостатки:*

- Высокие расходы на восстановление химических реагентов.
- Необходимость правильной утилизации использованных реагентов.
- Низкий показатель гидрофильности смолы.

### ***Технология смягчения воды с помощью ионов***

Бытовая система ионного обмена оснащается несколькими баллонами и насосом. Фильтры колонного типа состоят из рабочей емкости (имеет вид герметичного бака или баллона, заполненного ионообменной смолой), клапана с электронным процессором, управляющим подачей воды (рис. 1.3).

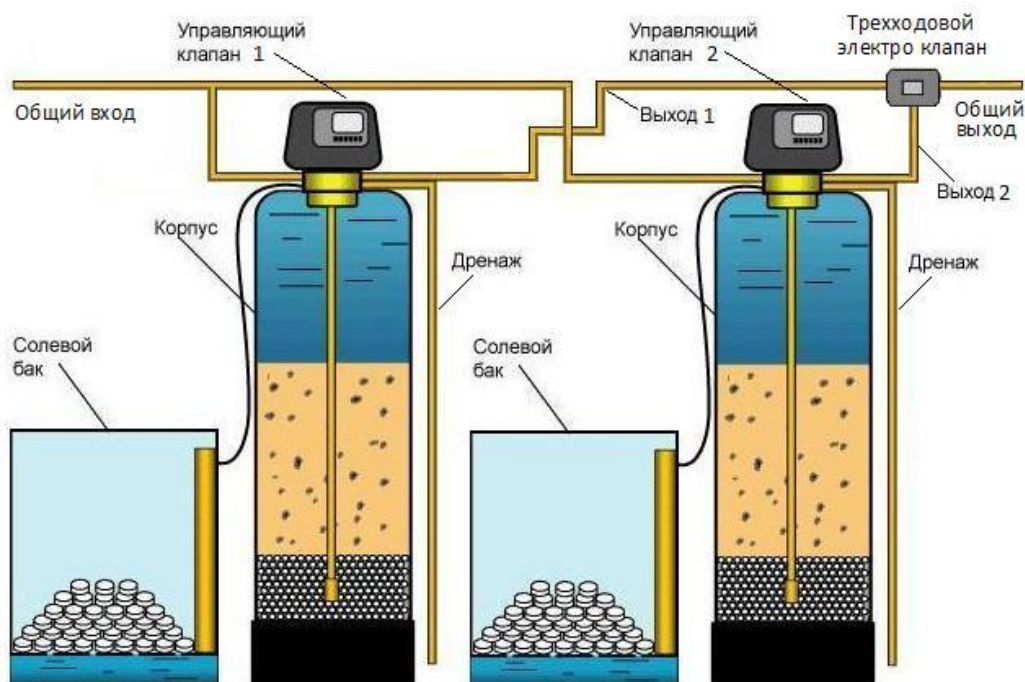


Рисунок 1.3 – Технология очистки воды методом ионного обмена

Емкости для восстановительного материала – имеет вид бака, куда засыпается соль. Работа смягчителей является полностью автоматизированной – процессор подает воду в колонну, та попадает в ионообменную среду и отдает смоле ионы солей жесткости, после чего очищенная вода через шланг вывода

подаётся к устройствам водопотребления. Когда реагент истощается, устройство направляет небольшое количество жидкости в специальный бак. После насыщения соляным раствором она снова возвращается в смолу. Циркуляция продолжается до тех пор, пока система не будет восстановлена. Бытовые и промышленные системы между собой различаются только размерами рабочих емкостей и типами используемых реагентов – принцип действия у них один.

## **РАЗНОВИДНОСТИ ИОННОГО ОБМЕНА**

### **1. Смягчение воды катионированием**

Кроме ионной водоподготовки, процесс смягчения воды часто называется как катионирование. Под *катионированием* подразумевается процесс обработки жидкости с применением методики ионного обмена, в результате чего происходят процессы катионного обмена. С учетом типа ионов ( $H^+$  или  $Na^+$ ), которые находятся в объеме катионита, выделяют два вида катионирования – Н и Na.

### **2. Натрий-катионитовый метод**

Натрий-катионитовый метод применяется для смягчения воды с процентным содержанием взвешенных веществ до 8 мг/л и цветностью воды не больше 30 град. Жесткость снижается при одноступенчатом натрий-катионировании до 0,05-0,1 мг-экв/л, а при двухступенчатом до 0,01 мг-экв/л. Преимущества способа – доступность, низкая цена, простая утилизация продуктов регенерации.

### **3. Водород-катионитовый метод**

Водород-катионитовый метод используется для глубокого смягчения воды. Он основывается на фильтровании жидкости через слой катионита. При Н-катионировании рН фильтрата снижается в значительной мере, происходит это за счет образующихся в ходе процесса кислот. Углекислый газ удаляется дегазацией. Регенерация Н-катионита в этом случае производится 4–6%-ным раствором кислоты ( $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ).

## **РАСЧЁТ ОБЪЁМА ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ**

Минимальным значением ёмкости ионообменной смолы принято считать 1180 мг.экв/литр. Данное значение считается константой и зависит от производителя. Например, Немецкий

Lewatit 1567 имеет емкость близко к 1900 мг.экв/литр, Томский Альфасофт принято считать с емкостью 1500 мг.экв/литр.

Расчёт объема ионообменной смолы для фильтра проводится при наличии следующих данных: литраж каждого картриджа, ёмкость смолы и жесткость воды.

Имея все эти данные, можно рассчитать, на сколько литров должно хватить ионообменной смолы, чтобы снизить жёсткость воды.

$$V = \frac{L \times E}{Ж}$$

где V – объем ионообменной смолы, л.; L – литраж ионообменной смолы, л.; E – ёмкость ионообменной смолы, мг.экв/л; Ж – жёсткость воды, мг-экв/л (ед., град.).

Применяемый расчёт позволяет перевести данные используемого картриджа из уже имеющегося в нём объема ионообменной смолы в её смягчающую ёмкость. Но, тем не менее, этот расчёт даёт лишь приблизительные показатели, если необходимы наиболее точные, то потребуются прибегнуть к химическому анализу.

**Пример.** Имеется 10 литров смолы, если это Lewatit, тогда емкость загрузки составляет:  $10 \times 1\,900 = 19\,000$ .

Имея показатель жесткости, например, 7 ед., можно вычислить количество литров, которое сможет смягчить данная загрузка:  $19\,000 / 7 = 2\,714$  литров. Чем выше емкость смолы, тем реже требуются регенерации, а это экономия воды и солевого раствора.

Для того чтобы рассчитать необходимый объём смолы в фильтре, нужно за константу взять недельный расход воды, например, это 5 кубов = 5000 л (для частного дома), объёма загрузки должно хватить на этот период. Далее требуется знать средний показатель ёмкости смолы 1500 мг.экв/литр и жесткость воды (оставляем прежнюю - 7 ед.)

Формула по расчёту объёма будет следующей:

$$\text{Кол – во литров смолы} = \frac{\text{Жесткость воды} \times \text{Объём (расход) воды}}{\text{Емкость смолы}}$$
$$\text{Количество литров смолы} = \frac{7 \times 5000}{1500} = 23,3$$

Смола поставляется в мешках по 25 л. Округлять необходимый объём смолы нужно всегда в большую сторону, кратно до одного мешка. С помощью данных расчётов подбирается размер баллона фильтра-смягчителя, а также необходимое количество смолы.



## ЗАДАНИЕ

Произвести расчёт объёма ионообменной смолы в соответствии с вариантом. Исходные данные представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Исходные данные для задания

№ вар.	Жесткость воды, ед.	Ионообменная смола	Литраж ионообменной смолы, л	Недельный объём (расход) воды, м <sup>3</sup>
1	6	Альфасофт	-	4,0
2	5	Lewatit	12	-
3	5	Альфасофт	-	3,5
4	6	Lewatit	15	-
5	7	Lewatit	-	5,5
6	7	Альфасофт	-	4,3
7	10	Lewatit	8	-
8	8	Lewatit	9	-
9	9	Альфасофт	-	4,7
10	7	Lewatit	11	-
11	2	Альфасофт	-	5,1
12	3	Lewatit	-	4,6
13	11	Альфасофт	13	-
14	4	Альфасофт	-	4,8
15	3	Lewatit	-	3,7
16	12	Альфасофт	7	-
17	9	Альфасофт	-	5,2
18	10	Lewatit	14	-
19	8	Альфасофт	10	-
20	7	Альфасофт	-	4,4

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Сущность метода ионного обмена.
2. Принципы и технология работы ионных смягчителей.
3. Смягчение воды с помощью ионообменной смолы.
4. Порядок действий по восстановлению ионообменной смолы.
5. Плюсы и минусы ионообменного метода.
6. Технология смягчения воды с помощью ионов.
7. Смягчение воды катионированием.
8. Натрий-катионитовый метод.
9. Водород-катионитовый метод.
10. Расчёт объёма ионообменной смолы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### РАСЧЁТ ОЗОНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

#### *Цель работы:*

1) ознакомиться с озонированием – одним из методов обработки воды с целью ее обеззараживания и улучшения органолептических свойств;

2) произвести расчёт озонирующей установки и контактной камеры для дезинфекции сточных вод.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Озон применяется в различных областях водопользования:

- взамен хлорирования при обработке питьевой воды для приготовления на ее основе напитков;
- для очистки сточных и промышленных вод;
- обработки воды в бассейнах, океанариумах;
- очистки подземных вод (в частности, для снижения уровня пестицидов, устранения мутности, снижения цветности).

Широкое применение озонирования в качестве альтернативного хлорированию метода объясняется также отсутствием необходимости доставки и хранения больших количеств хлор-агентов, поскольку озон получают в озонаторных установках из воздуха.

Уникальные формы окисляющего и дезинфицирующего воздействия озона позволяют широко использовать его при водоподготовке на различных стадиях обработки воды. Так, для окисления загрязнений озон может быть введен как в начале технологической схемы очистки, так и на любом её этапе в зависимости от того, какой ингредиент загрязнений следует удалить.

Озон может быть получен с помощью химических реакций, в результате ультрафиолетового излучения, при электрическом разряде.

Молекула озона неустойчива и легко диссоциирует на молекулу и атом кислорода, который сразу же вступает в реакцию с озоном с образованием молекулы кислорода.

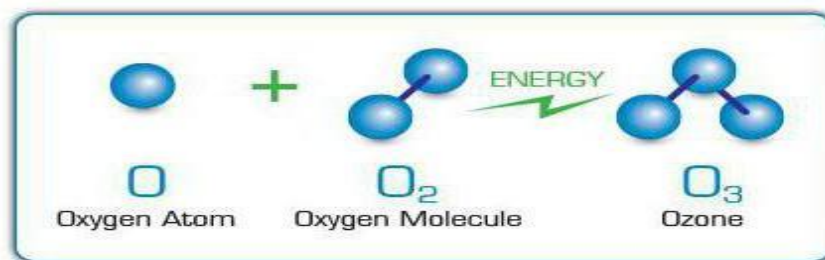


Рисунок 2.1 – Схема образования молекулы озона

В воде озон диссоциирует быстрее, чем на воздухе. На кинетику разложения озона влияет температура воды, наличие окислителей (хром, бром и т. п.), pH, концентрация окисляющихся веществ и др. При повышенном значении pH и низкой температуре воды распад озона замедляется.

Растворимость озона в воде также увеличивается при понижении температуры, увеличении pH.

Озон является токсичным газом. Его предельно допустимое содержание в воздухе помещений 0,0001 мг/л. Доза озона свыше 0,018 мг/л вызывает удушье. Чистый озон взрывоопасен, но не взрывается, если его концентрация в озоновоздушной смеси не превышает 10 %, то есть 140 г/м<sup>3</sup>.

### **Механизм воздействия озона на вещества**

Озон имеет высокий окислительно-восстановительный потенциал, что является главной причиной его активности по отношению к различного рода загрязнениям воды, включая микроорганизмы.

При введении озона в воду осуществляются два основных процесса - окисление и дезинфекция. Кроме того, происходит значительное обогащение воды растворенным кислородом. Окисляющее действие озона на химические вещества проявляется в следующих формах: прямом окислении, окислении радикалами (непрямое окисление), озонолитизе, катализе.

По сравнению с другими окислителями озон быстрее вступает в реакции и в меньшей дозе. Он является сильным бактерицидным агентом, оказывает непосредственное влияние на цитоплазму и ядерную структуру клетки бактерии, вызывая прекращение активности сложных органических веществ белковой природы - энзимов. Вирусы уничтожаются при полном окислении их материи, состоящей из белка и одной из нуклеиновых кислот.

Инактивация бактерий и вирусов рассматривается не только как следствие прямого воздействия озона, но и как воздействие ряда других окислителей, образующихся при диффузии дезинфектанта в воду, в частности – свободных радикалов.

### **Озонирование**

Озонирование – один из перспективных методов обработки воды с целью ее обеззараживания и улучшения органолептических свойств. Озонирование применяется для очистки сточных вод от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводородов, пестицидов и др.

Обеззараживающее действие озона основано на высокой окислительной способности, обусловленной легкостью отдачи им активного атома кислорода. Озон значительно активнее хлора по отношению к вирусам, так как он действует непосредственно на протоплазму клетки; под действием хлора бактерии отмирают постепенно, а при введении озона практически мгновенно.

В отличие от хлора, который пассивен по отношению к некоторым типам бактерий, озону отводится роль универсального окислителя, осуществляющего почти мгновенную инактивацию.

Для получения озона, идущего на нужды водоподготовки, используются генераторы двух типов: пластинчатые и трубчатые.

*Пластинчатые озонаторы (генераторы)* представляют собой совокупность диэлектриков и плоских металлических электродов, помещенных в закрытую емкость, снабженную системой охлаждения. Электроды чередуются в определенной последовательности: электрод высокого напряжения, диэлектрик, электрод низкого напряжения и т.д.

*Трубчатые озонаторы (генераторы)* состоят из концентрических электродов и трубчатых диэлектриков, установленных в герметичной емкости, оборудованной системой водяного охлаждения. Конструкции трубчатых озонаторов отличаются друг от друга расположением электродов (вертикальное или горизонтальное), а также положением диэлектрика по отношению к системе подачи охлаждающей воды. В настоящее время наибольшее распространение в зарубежной практике водоподготовки нашли трубчатые озонаторы с

электродами в горизонтальном исполнении, зарекомендовавшие себя как высокоэффективные и экономичные (рис. 2.2).

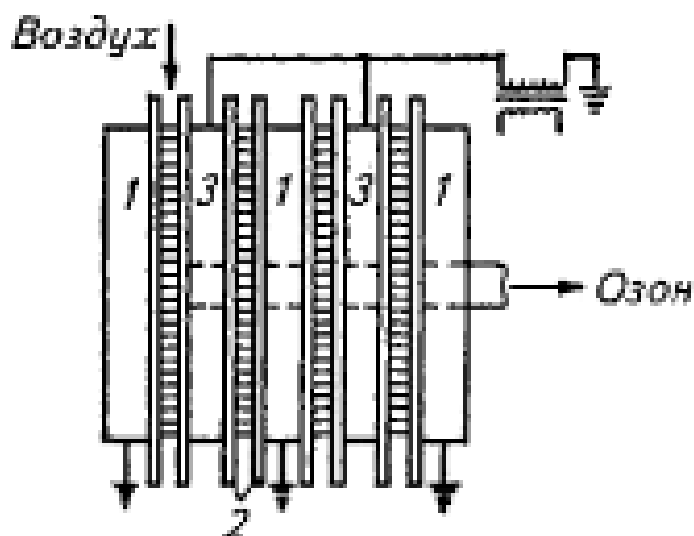


Рисунок 2.2 – Схема пластинчатого озонатора с центральным коллектором

*1 – полые бруски; 2 – стеклянные пластины; 3 – высоковольтные электроды*

Для получения озона на станциях водоочистки используются, как правило, трубчатые генераторы озона (озонаторы) (рис. 2.3). Элементарный трубчатый генератор состоит из двух электродов, разделенных диэлектриком. Электрод низкого напряжения представляет собой цилиндр из нержавеющей стали, в котором с небольшим зазором установлен полый цилиндрический стеклянный диэлектрик, покрытый с внутренней стороны тонким слоем металла, являющимся электродом высокого напряжения. Поток сухого воздуха или кислорода пропускается в пространство между цилиндрическим электродом и стеклянным диэлектриком, и при наложении переменного тока высокого напряжения (5-30 кВ) и частоты происходит коронный («тихий») электрический разряд с образованием озона. Озонаторы с частотой тока 50/60 Гц рекомендуются для малых станций, а для больших станций - с частотой 600 Гц.

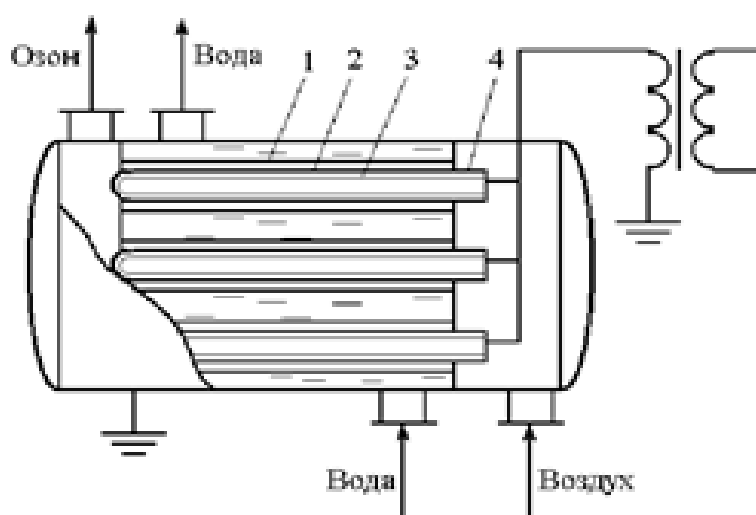


Рисунок 2.3 – Схема трубчатого озонатора

*1 - электрод низкого напряжения; 2 - диэлектрик; 3 – электрод высокого напряжения; 4 – стеклянная трубка*

Доза озона и оптимальная схема озонирования определяются на основе предварительных технологических исследований на источнике водоснабжения.

Если озон применяется только для обеззараживания поверхностных вод после осветления (фильтрования), то его доза принимается 1-3 мг/л; для обеззараживания подземных вод – 0,75-1 мг/л. Продолжительность контакта обеззараживаемой воды с озоном принимается 5-12 мин. Температура, рН воды, и наличие неокисленных неорганических и органических веществ также влияют на дозу озона.

Введение озона только для обеззараживания производится в очищенную воду, перед поступлением ее в резервуар чистой воды (РЧВ). В этом случае озон будет затрачиваться лишь на дезинфекцию. Если после очистки в воде остались неокисленные соединения (органические загрязнения, неокисленное железо, марганец и т.п.), расход озона значительно возрастет. Кроме того, необходимо будет дополнительно пропустить такую воду через сорбционные фильтры.

Главной задачей является наиболее полное растворение газообразного озона в воде. Для этого используют устройства для диффузии озона в воду: колонны, заполненные гранулированным материалом, механические турбины для диспергирования озона, гидравлические эмульгаторы, контакторы с разбрызгиванием жидкости, фильтросные трубы, пористые диски и др.

Диспергируемый в воду озон независимо от применяемой системы диффузии растворяется не полностью. Коэффициент

полезного действия систем достигает 97%. На практике диффузию озона осуществляют в контактных камерах (рис. 2.4), работающих при атмосферном или повышенном давлении.

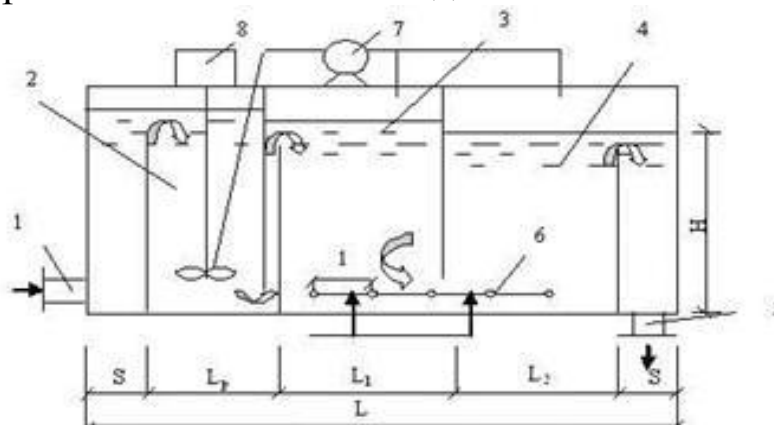


Рисунок 2.4 – Контактная камера озонирования

*1 – подача исходной воды; 2 – рекуперационное отделение; 3, 4 – первая и вторая секции камеры; 5 – отвод воды; 6 – распределительная система ОВС; 7 – воздуходувка; 8 – механическая мешалка*

После контактных камер вода должна содержать остаточный озон в количестве 0,1-0,3 мг/л, что гарантирует полноту её обеззараживания. Однако остаточный озон разрушает металлические трубопроводы, особенно стальные, из-за активной коррозии, поэтому перед подачей воды в распределительные сети необходимо некоторое время выдержать ее в РЧВ для полного разложения озона. Количество оставшегося или непрореагировавшего озона контролируют несколькими способами: йодометрией в нейтральной среде, спектрометрией, калориметрией, люминесценцией и хемилюминесценцией.

Обезвреживание остаточного озона происходит по схеме, изображенной на рисунке 2.5.

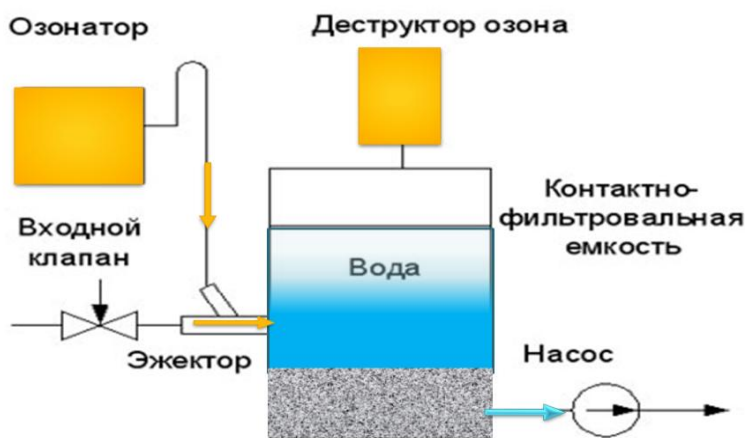


Рисунок 2.5 – Схема обезвреживания остаточного озона



## Пример расчёта озонирующей установки и контактной камеры для дезинфекции сточных вод

**Исходные данные:** среднесуточный расход сточных вод  $Q_{\text{ср.сут}} = 12000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; доза озона  $D_{\text{оз}} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$ , продолжительность контакта  $T_{\text{оз}} = 10 \text{ мин}$ ; высота воды в камере  $H_{\text{к}} = 4 \text{ м}$ .

1. Средний секундный расход воды, поступающей на очистную станцию  $Q_{\text{ср}}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , рассчитывается по формуле 1.

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24 \times 3600} \quad (1)$$

$$Q_{\text{ср}} = \frac{12000}{24 \times 3600} = 0,139 \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Максимальный часовой расход  $Q_{\text{макс}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$  рассчитывается по формуле 2.

$$Q_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \times k_{\text{об.макс}}}{24}$$

где  $k_{\text{об.макс}}$  – общий коэффициент неравномерности, равный 1,59

$$Q_{\text{макс}} = \frac{12000 \times 1,59}{24} = 795 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3. Максимальный расход озона  $Q_{\text{оз}}$ ,  $\text{кг}/\text{ч}$  определяется по формуле 3.

$$Q_{\text{оз}} = Q_{\text{макс}} \times D_{\text{оз}} \quad (3)$$

$$Q_{\text{оз}} = \frac{795 \times 10}{1000} = 7,95 \text{ кг}/\text{ч}$$

4. Расход озона в сутки  $Q_{\text{оз.сут}}$ ,  $\text{кг}/\text{сут}$  рассчитывается по формуле 4.

$$Q_{\text{оз.сут}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \times D_{\text{оз}}}{1000} \quad (4)$$

$$Q_{\text{оз.сут}} = \frac{12000 \times 10}{1000} = 120 \text{ кг}/\text{сут}$$

По таблице 2.1 выбираем озонатор типа ОП-315 с номинальной производительностью по озону  $P_{\text{оз}} = 3,8 \text{ кг}/\text{ч}$ .

Расход воздуха  $Q_{\text{возд}} = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Расход охлаждающей воды  $q_{\text{ох.воды}} = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

5. Требуемое число озонаторов  $N_{\text{оз}}$ , шт определяют по формуле 5.

$$N_{O_3} = \frac{Q_{O_3}}{P_{O_3}} \quad (5)$$

$$N_{O_3} = \frac{7,95}{3,8} = 2,1$$

Таким образом, принимаем два рабочих озонатора в предположении, что максимальная производительность одного озонатора может достигать 4 кг/ч. Кроме этого, принимаем также один резервный озонатор (рекомендуется 10-20% резервных озонаторов).

6. Требуемый расход воды  $q$ , м<sup>3</sup>/ч определяется по формуле 6.

$$q = \frac{q_{\text{ох.воды}} \times N_{O_3}}{3600} \quad (6)$$

$$q = \frac{30 \times 2}{3600} = 0,017 \text{ м}^3/\text{с}$$

7. Определим размер контактных (барботажных) камер для смешения озоновоздушной смеси с водой. Общая площадь камер  $F$ , м<sup>2</sup> определяется по формуле 7.

$$F = \frac{Q_{\text{макс}} \times T_{O_3} \times 60}{3600 \times H_k}$$

$$F = \frac{795 \times 10 \times 60}{3600 \times 4} = 33,1 \text{ м}^2$$

Таблица 2.1

Характеристика озонаторов трубчатого типа

Тип озонатора	Производительность по озону, кг/ч	Концентрация озоновоздушной смеси, %	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	Напряжение на электродах, кВт
ОП-4	1	16-17	40	1	10
ОП-6	2	14-16	80	3	10
ОП-121	1,6	14-16	120	10	16
ОП-315	3,8	12-14	300	30	18
ОПТ-510	6	12-14	450	50	18
Шуази	8,3	18-20	450	45	20

## ЗАДАНИЕ

Рассчитать озонирующую установку и контактную камеру для дезинфекции сточных вод, прошедших доочистку на фильтрах. Исходные данные приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Исходные данные для задания

№ п/п	Среднесуточный расход сточных вод $Q_{\text{ср.сут}}$ , м <sup>3</sup> /сут	Доза озона $D_{\text{оз}}$ , г/м <sup>3</sup>	Продолжительность контакта $T_{\text{оз}}$ , мин	Высота воды в камере $H_{\text{к}}$ , м
1	10 000	10	6	4,1
2	6 800	9,9	5	4,0
3	7 000	10	7	3,8
4	11 000	9,8	8	3,9
5	7 600	10	7	4,0
6	11 500	9,8	5	4,0
7	12 000	9,7	8	4,1
8	8 100	10	9	3,9
9	9 700	9,9	11	4,0
10	10 500	10	10	4,0
11	6 900	9,9	5	3,9
12	11 400	10	11	4,1
13	12 500	10	11	3,9
14	7 500	9,9	9	4,0
15	8 500	9,8	10	3,9
16	6 800	10	12	4,0
17	11 900	9,9	10	4,1
18	11 400	10	8	4,0
19	9 700	10,1	9	4,1
20	8 700	9,9	11	4,0

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Озон: общая характеристика.
2. Области применения озона.
3. Природа озона.
4. Механизм воздействия озона на вещества.
5. Озонирование.
6. Пластинчатые озонаторы (генераторы).
7. Трубчатые озонаторы (генераторы).
8. Расчёт озонирующей установки и контактной камеры для дезинфекции сточных вод.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### РАСЧЁТ СИСТЕМЫ КОАГУЛЯЦИИ

#### *Цель работы:*

- 1) ознакомиться с коагуляцией как одним из методов физико-химической очистки воды;
- 2) рассчитать систему коагуляции.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Коагуляция воды относится к предварительным физико-химическим способам ее очистки. Сущность процесса заключается в укрупнении и осаждении механических примесей или эмульгированных веществ. Эта технология используется на современных станциях очистки сточных вод и водоподготовки.

**Коагуляция воды**, или по-другому ее осветление, – это процесс, при котором происходит объединение мелких частиц, находящихся во взвешенном состоянии, в более крупные конгломераты.

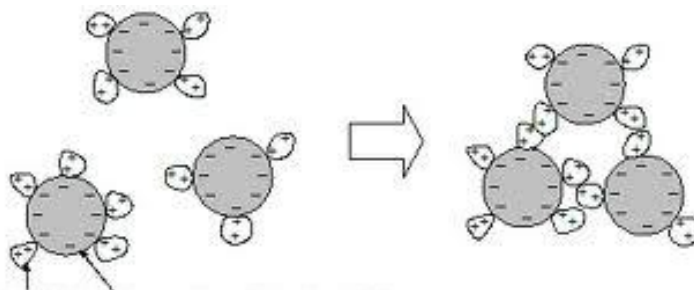


Рисунок 3.1 – Механизм коагуляции

Проведение данной процедуры позволяет удалить тонкодисперсные примеси из жидкости при дальнейшем ее отстаивании, фильтровании или флотации. Для того чтобы частицы «слиплись», необходимо преодолеть силы взаимного отталкивания между ними, которые обеспечивают стабильность коллоидного раствора. Чаще всего примеси обладают слабым отрицательным зарядом. Поэтому для очистки воды коагуляцией вводят вещества, имеющие разноименный заряд. В результате частицы взвесей становятся электрически нейтральными, лишаются сил взаимного отталкивания и начинают слипаться, а затем выпадают в осадок.

Введение в воду *коагулянтов*, веществ способствующих образованию новой малорастворимой фазы, сопровождается выпадением осадка - *коагулята*. Таким образом, процесс коагуляции заключается в прогрессирующем укрупнении частиц и уменьшении их численности в объёме дисперсионной среды.

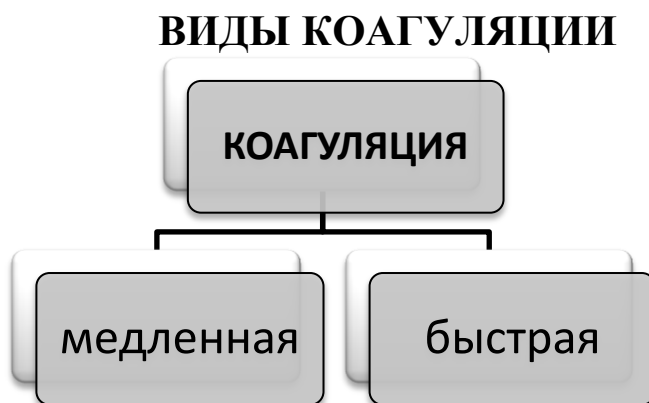


Рисунок 3.2 – Схема видов коагуляции

При *медленной коагуляции* только незначительная часть соударений частиц-коллоидов приводит их к слипанию, а коагулят не выпадает.

При *быстрой коагуляции* каждое соударение обладает эффективностью и влечёт слипание частиц, а в коллоидном растворе постепенно образуется осадок.

Минимальную концентрацию дозируемого вещества (электролита или не электролита), инициирующего процесс коагуляции в системе с жидкой дисперсионной средой, называют *порогом коагуляции*. При определенных условиях коагуляция обратима. Процесс перехода коагулята обратно в золь(коллоидный раствор) называют *пептизацией*, а провоцирующие этот процесс вещества - *пептизаторами*.

Пептизаторы, являясь стабилизаторами дисперсных систем, адсорбируются на поверхности частиц, ослабляя взаимодействие между ними, в результате чего происходит распад агрегатов. Особенно эффективно возврат в первичное состояние проходит при вводе в среду поверхностно-активных веществ, снижающих поверхностную межфазную энергию и облегчающих диспергирование.

## ПРИРОДА КОАГУЛЯНТОВ

В качестве коагулянтов применяют 2 вида химических реагентов: неорганические и органические.

Из первой группы веществ наиболее распространены соли алюминия, железа, их смеси; соли титана, магния и цинка.

Ко второй группе относят полиэлектролиты (меламинформальдегидные, эпихлоргидриндиметиламиновые, полихлордиаллилдиметил-аммонийные).

В промышленных условиях коагуляция сточных вод производится чаще всего с помощью солей алюминия и железа: хлористый алюминий  $AlCl_3 \times 6H_2O$ , хлорид железа  $FeCl_3 \times 6H_2O$ , сернокислый алюминий  $Al_2(SO_4)_3 \times 18H_2O$ , сульфат железа  $FeSO_4 \times 7H_2O$  и другие.

Коагулянты образуют хлопья, имеющие большую удельную площадь поверхности, что обеспечивает их хорошую адсорбционную способность. Выбор оптимального вида вещества и его дозы производится в лабораторных условиях с учетом свойств жидкости объекта очистки. Для осветления природных вод концентрация коагулянтов обычно находится в пределах 25-80 мг/л. Практически все эти реагенты относятся к 3 или 4 классу опасности. Поэтому участки, на которых они применяются, должны быть в изолированных помещениях или отдельно стоящих зданиях.

Процесс коагуляции применяется как в системах водоподготовки, так и для очистки промышленных и бытовых сточных вод. Эта технология помогает добиться уменьшения количества вредных примесей:

- железо и марганец – до 80%;
- синтетические ПАВ – на 30-100%;
- свинец, хром – на 30%;
- нефтепродукты – на 10-90%;
- медь и никель – на 50%;
- органические загрязнения – на 50-65%;
- радиоактивные вещества – на 70-90% (кроме трудноудаляемого йода, бария и стронция; их концентрацию удается сократить только на треть);
- пестициды – на 10-90%.

Очистка воды методом коагуляции с последующим отстаиванием позволяет снизить в ней содержание бактерий и

вирусов на 1-2 порядка, а концентрацию простейших микроорганизмов – на 2-3 порядка.

Технология эффективна в отношении следующих болезнетворных микробов:

- вирус Коксаки;
- энтеровирусы;
- вирус гепатита А;
- кишечная палочка и ее бактериофаги;
- цисты лямблий.

Скорость и эффективность коагуляции воды зависят от нескольких условий:

- Степень дисперсности и концентрация примесей. Повышенная мутность требует введения более высоких доз коагулянта.

- Кислотность среды. Очистка жидкостей, насыщенных гуминовыми и фульфовыми кислотами, лучше происходит при более низких значениях водородного показателя. При обычном осветлении воды процесс идет более активно при повышенном рН. Для увеличения щелочности добавляют известь, соду, едкий натр.

- Ионный состав. При малой концентрации смеси электролитов эффективность коагуляции воды снижается.

- Наличие органических соединений.

- Температура. При ее снижении уменьшается скорость химических реакций. Оптимальным режимом является подогрев до 30-40°C.

## МЕТОДЫ КОАГУЛЯЦИИ

Существует 2 основных метода коагуляции, применяемых на водоочистных сооружениях:

1) В свободном объеме. Для этого используют смесители и камеры хлопьеобразования.

2) Контактное осветление. Предварительно в воду добавляют коагулянт, а затем пропускают ее через слой зернистых материалов.

Последний способ коагуляции воды получил наибольшее распространение ввиду следующих *преимуществ*:

- ✓ Высокая скорость очистки.
- ✓ Меньшие дозы коагулирующих веществ.
- ✓ Отсутствие сильного влияния температурного фактора.



✓ Нет необходимости в подщелачивании жидкости.

Технологический процесс очистки сточных вод коагуляцией включает 3 основных этапа:

1) Дозирование реагента и его смешивание с водой. Коагулянты вводят в жидкость в виде 10-17% растворов или суспензий. Перемешивание в емкостях осуществляется механическим способом или путем аэрации сжатым воздухом.

2) Хлопьеобразование в специальных камерах (контактных, тонкослойных, эжекционных или рециркуляционных).

3) Осаждение в отстойниках. Отстаивание сточных вод эффективнее при двухступенчатом способе, когда вначале оно проводится без коагулянтов, а затем – после обработки химическими реагентами.

### Пример расчёта системы коагуляции

Сущность коагуляции в том, что с помощью специальных веществ (коагулянтов) происходит свертывание в хлопья веществ, находящихся в воде и выпадение их в осадок. В качестве коагулянтов применяют сернокислый алюминий ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$ ) и железный купорос (сернокислое железо закисное) ( $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ) (его применяют совместно с известкованием).

Суточный расход химически чистого коагулянта (без кристаллизационной воды) определяется по формуле 1.

$$Q_k^{\text{сут}} = \frac{24 \times Q_{\text{пв}} \times \text{Э} \times q_k}{1000} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{пв}}$  – количество обрабатываемой воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$q_k$  – дозировка коагулянта, мг-экв/кг (для средней полосы  $q_k=0,7$ );

$\text{Э}_k$  – эквивалентный вес коагулянта (для  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$  без кристаллизационной воды  $\text{Э}_k=57,02$ ).

$$Q_k^{\text{сут}} = \frac{24 \cdot 57,02 \cdot 26 \cdot 0,7}{1000} = 24,91$$

Потребное (необходимое) количество раствора коагулянта определяется по формуле 2.

$$V_k = \frac{Q_k^{\text{сут}} \times 100}{1000 \times \rho_k \times p} \quad (2)$$

где  $p$  – крепость раствора коагулянта, % (находится в пределах 5-10%);

$\rho_k$  – плотность раствора коагулянта (в нашем случае -  $1,105 \text{ кг}/\text{м}^3$ )

$$V_k = \frac{24,91 \times 100}{1000 \times 1,105 \times 10} = 0,23 \text{ м}^3$$

Необходимый объем бака для приготовления раствора коагулянта рассчитывается по формуле 3.

$$V_6^{\text{сут}} = 1,3 \times \frac{Q_k^{\text{сут}}}{10 \times p} \quad (3)$$

$$V_6^{\text{сут}} = 1,3 \times \frac{24,91}{10 \times 10} = 0,32 \text{ м}^3$$

Потребное (необходимое) суточное количество технического коагулянта (с кристаллизационной водой) определяется по формуле 4.

$$G_m = \frac{24 \times Q_{\text{пв}} \times H \times K_1}{1000 \times \varepsilon} \quad (4)$$

$K_1$  – эквивалентный вес коагулянта (для сернокислого алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$   $K_1=111,07$ )

$\varepsilon$  – степень чистоты технического продукта в долях единицы (в нашем случае  $\varepsilon=0,882$ )

$$G_m = \frac{24 \cdot 26 \cdot 0,7 \cdot 111,07}{1000 \cdot 0,882} = 55,01$$

Ёмкости каждого из баков дозатора определяются исходя из 8 часовой работы по формуле 5.

$$V_{\text{доз}} = \frac{V_k}{3} \quad (5)$$

где  $V_k$  – потребное количество раствора коагулянта

$$V_{\text{доз}} = \frac{0,23}{3} = 0,08$$

Объем резервуара для «мокрого» хранения коагулянтов рассчитывается по формуле 6.

$$V = \frac{1,5 \times G_t \times (v+p)}{1000} \quad (6)$$

где  $G_t$  – расход технического коагулянта в сутки, кг;

$v$  – необходимый запас на 30 суток;

$p$  – остаток коагулянта на 10 суток,предусматриваемый перед поступлением проектируемого запаса;

1,5 – расчетный объем баков «мокрого» хранения на 1 т реагента,  $\text{м}^3$ .

$$V = \frac{1,5 \times 55,01 \times (30+10)}{1000} = 3,3 \text{ м}^3$$

## ЗАДАНИЕ

Произвести расчёт системы коагуляции в соответствии с вариантом. Исходные данные представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

## Исходные данные для задания

№ п/п	Количество обрабатываемой воды $Q_{пв}$ , м <sup>3</sup> /ч;	Крепость раствора коагулянта а р, %	Дозировка коагулянта $q_k$ , мг-экв/кг	Степень чистоты технического продукта, $\epsilon$	Расход технического коагулянта в сутки $G_t$ , кг
1	24	5	0,68	0,881	56
2	25	6	0,7	0,883	52
3	25	5	0,69	0,882	55
4	26	7	0,71	0,881	53
5	26	10	0,72	0,883	54
6	27	6	0,68	0,882	55
7	25	9	0,7	0,881	57
8	26	7	0,71	0,883	56
9	28	8	0,68	0,881	56
10	29	5	0,72	0,882	54
11	22	10	0,71	0,881	57
12	23	8	0,68	0,883	54
13	24	9	0,69	0,882	55
14	25	6	0,7	0,881	53
15	26	7	0,69	0,882	54
16	27	10	0,71	0,883	56
17	28	5	0,7	0,882	57
18	25	8	0,72	0,881	54
19	26	10	0,69	0,882	57
20	25	9	0,7	0,883	55

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Сущность коагуляции.
2. Механизм коагуляции.
3. Медленная коагуляция.
4. Быстрая коагуляция.
5. Порог коагуляции.
6. Пептизаторы.
7. Неорганические коагулянты.
8. Органические коагулянты.
9. От чего зависит скорость и эффективность коагуляции.
10. Методы коагуляции.
11. Этапы технологического процесса очистки сточных вод коагуляцией.
12. Расчёт системы коагуляции.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### РАСЧЁТ ФЛОТАТОРА

#### *Цель работы:*

- 1) ознакомиться с флотационным методом очистки сточных вод;
- 2) произвести расчёт флотатора.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Наиболее эффективным методом для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, а также нефтепродуктов, является флотация.

**Флотация** – один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, основанный на формировании всплывающих агломератов (флотокомплексов) загрязнений с диспергированной газовой фазой и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта (флотошлама).

#### *Достоинства флотации:*

- ✓ непрерывность процесса;
- ✓ широкий диапазон применения;
- ✓ небольшие капитальные и эксплуатационные затраты;
- ✓ простота аппаратуры;
- ✓ селективность выделения примесей по сравнению с отстаиванием;
- ✓ большая скорость процесса;
- ✓ высокая степень очистки (95-98%);
- ✓ возможность рекуперации удаляемых веществ.

Классификация флотационного процесса представлена на рисунке 4.1.

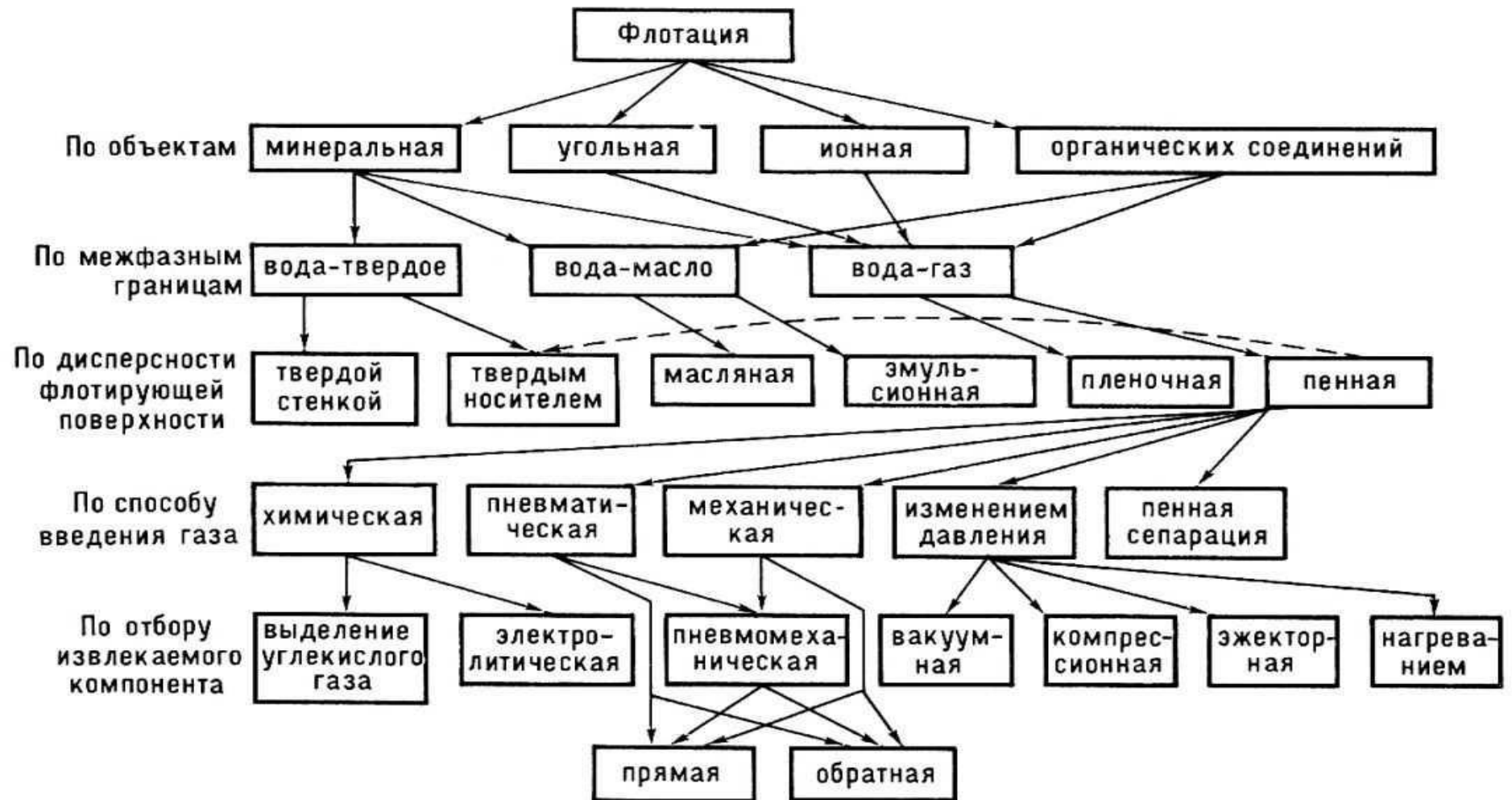


Рисунок 4.1 – Классификация флотационного процесса

Во флотационной установке струя воды и струя воздуха идут в одном направлении (рис. 4.2). Частицы загрязнений разбросаны по всему объёму воды и при движении вместе с воздухом они слипаются с пузырьками. Для оптимальной работы в камеру флотации пропускают пузырьки не более определённого опытами размера, так как при большом размере пузырьков скорости воздушного потока и потока загрязнённых частиц отличаются, и частицы не успевают прикрепиться к пузырьку. И при этом они перемешивают воду, что влечёт за собой разрыв уже соединённых пар пузырёк-частица.

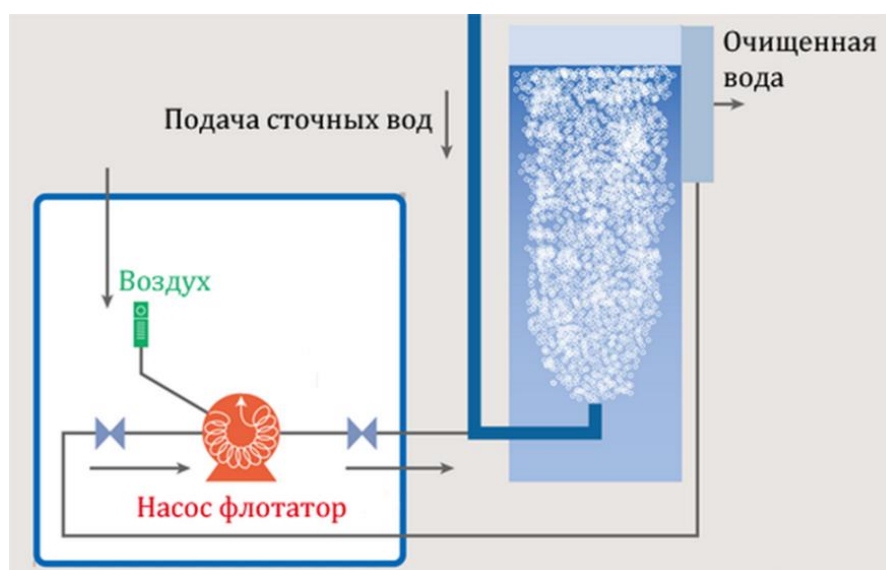


Рисунок 4.2 – Схема процесса флотации

Флотация сопровождается аэрацией сточных вод, снижением концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ), легко окисляемых веществ, бактерий и микроорганизмов. Все это способствует успешному проведению последующих стадий очистки сточных вод.

Процесс, на котором основана флотация, состоит в том, что при сближении поднимающегося в воде пузырька воздуха с твердой гидрофобной частицей разделяющая их прослойка воды при некоторой критической толщине прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. Затем комплекс «пузырек-частица» поднимается на поверхность воды, где пузырьки собираются, и возникает пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде. Эффект разделения флотацией зависит от размера и количества пузырьков. На величину смачиваемости

поверхности взвешенных частиц влияют адсорбционные явления и присутствие в воде примесей ПАВ, электролитов и др.

Различают следующие виды флотации:

- 1) напорная;
- 2) импеллерная;
- 3) флотация с использованием пористых материалов.

При **напорной флотации** воду воздухом насыщают под давлением. Если при этом реагенты не добавляются, то такую флотацию относят к способам физической очистки. Напорная флотация позволяет регулировать количество растворяемого воздуха, а так же размер пузырьков.

Для очистки вод в нефтеперерабатывающей промышленности используют **импеллерную флотацию**. Этот метод не отличается высокой эффективностью из-за большой турбулентности потоков во флотаторе, которая разрушает хлопьевидные частицы. Для лучшего результата добавляют поверхностно-активные вещества.

**Пористые материалы** позволяют получать пузырьки воздуха небольших размеров, для этого скорость истечения воздуха из отверстия материалов должна быть минимальной.

Эффективность флотации повышает использование коагулянтов, которые помогают удалять загрязнения в виде стойких эмульсионных соединений. После флотации продукты идут на дальнейшее обезвоживание в отстойники-сгустители и гидроциклоны, сушилки и так далее.

Наиболее распространены установки напорной флотации. Они просты и надежны в эксплуатации. Напорная флотация позволяет очищать сточные воды с концентрацией взвеси до 4-5 г/л. Для увеличения степени очистки в воду добавляют коагулянты.

Процесс напорной флотации осуществляется в две стадии:

- 1) насыщение воды воздухом под давлением;
- 2) выделение растворенного газа под атмосферным давлением.

Напорные флотационные установки имеют производительность от 5 до 2000 м<sup>3</sup>/ч. Схема установки напорной флотации показана на рисунке 4.3.



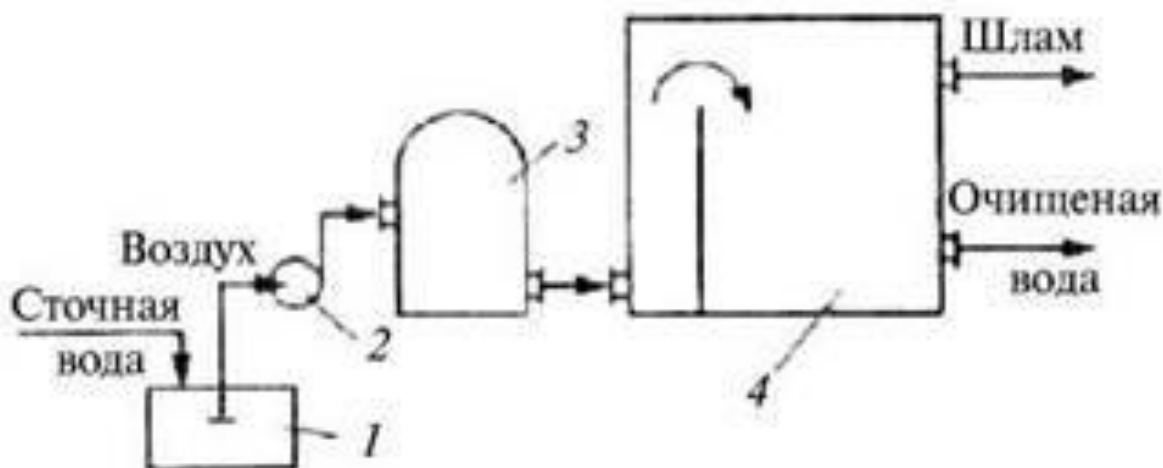


Рисунок 4.3 – Схема установки напорной флотации  
 1 - емкость; 2 - насос; 3 - напорный бак; 4 - флотатор

Различают более тонкие виды флотационных установок, выбор которых обусловлен спецификой примесей - импеллерная и пневматическая флотации.

*Импеллеры* – это турбинки насосного типа. При вращении импеллера в жидкости возникает большое число мелких вихревых потоков, которые разбиваются на пузырьки, выносящие на водную поверхность флотационной камеры загрязнителя. Для такой флотации требуется высокая степень насыщения воды воздухом. Диаметр импеллера составляет 600-700 мм (рис. 4.4).

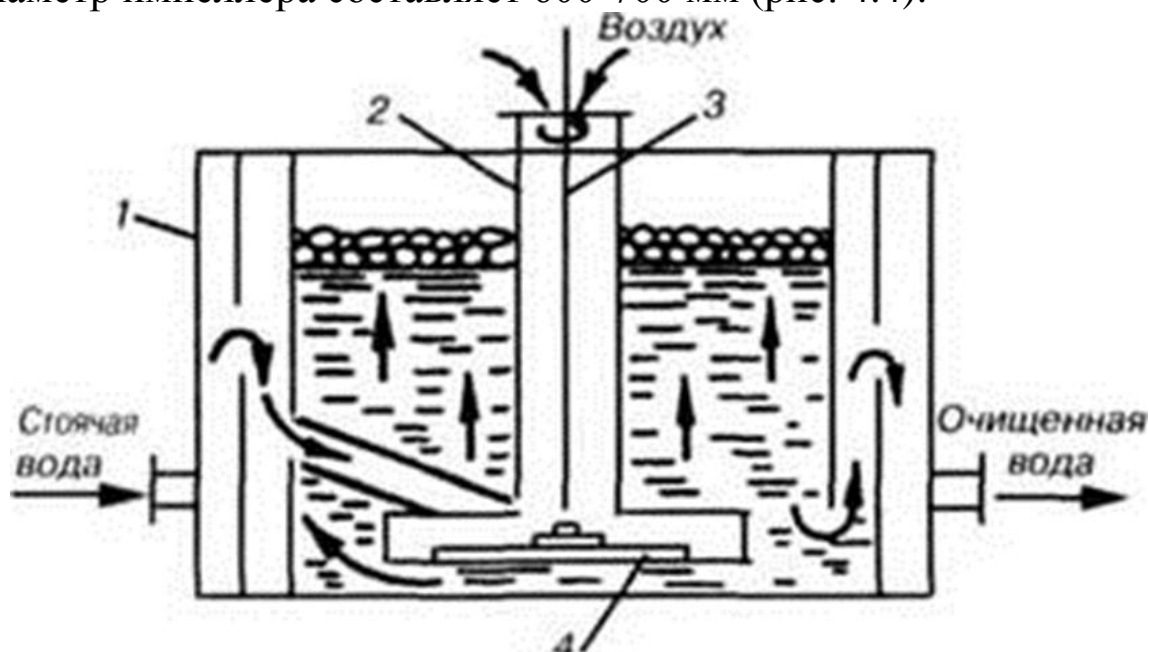


Рисунок 4.4 – Фильтр с импеллером  
 1 - камера; 2 - труба; 3 - вал; 4 - импеллер

Данный фильтр с импеллером широко используется для процессов обогащения сырья и очистки сточных вод от веществ, легко переходящих в пену. Недостатком этого вида флотации является невозможность использования коагулянтов, так как при турбулентном перемешивании воды происходит разрушение хлопьев коагулянта. Продолжительность флотации зависит от свойств воды и примесей и определяется экспериментально (примерно 15-20 мин).

Установки по пневматической флотации применяются для очистки сточных вод, содержащих растворенные примеси, агрессивные по отношению к механизмам, имеющим движущиеся части (насосы). При флотации с помощью пористых пластин воздух пропускается через пористые керамические пластины или колпачки. В результате такой операции образуются мелкие пузырьки, поднимающие вверх загрязнители, которые вместе с пеной переливаются в кольцевой желоб и удаляются из него.

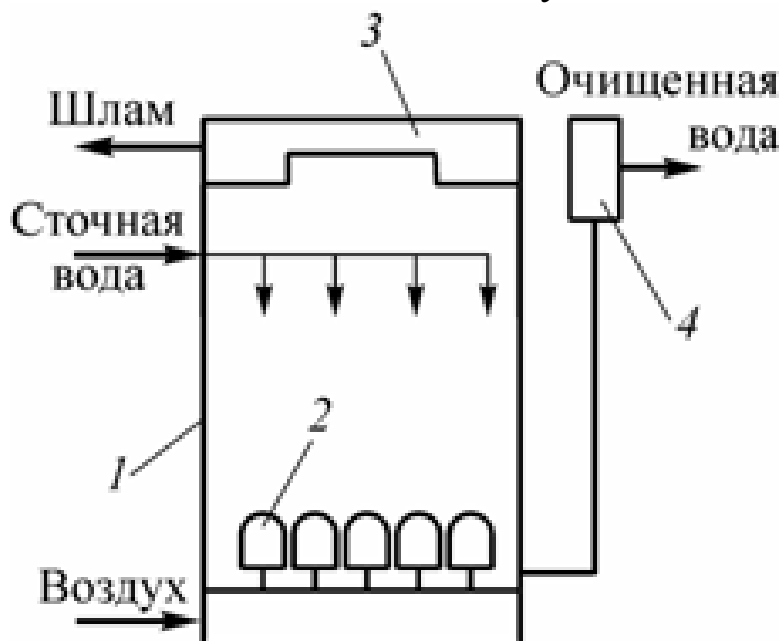


Рисунок 4.5 – Пневматический флотатор с пористыми колпачками  
1 – камера; 2 – пористые колпачки; 3 – желоб; 4 – регулятор уровня

Этот способ флотации по сравнению с другими имеет следующие преимущества: простота конструкции флотационной камеры и меньшие затраты энергии (отсутствуют насосы, импеллеры). Производительность такого флотатора зависит от величины отверстий, пористого материала, давления воздуха, расхода воздуха, продолжительности флотации.

## Пример расчёта флотатора

Исходные данные:

- высота флотационной камеры  $H_k=1,5\text{ м}$ ;
- расход сточных вод  $Q_p=45000\text{ м}^3/\text{сут} = 1875\text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- высота отстойной зоны  $H_0=1,5\text{ м}$ ;
- начальное содержание взвешенных веществ в сточной воде  $C_1=150\text{ г}/\text{м}^3$ ;
- конечное содержание взвешенных веществ в сточной воде  $C_2=5,4\text{ г}/\text{м}^3$ ;
- производительность установки,  $Q_{\text{ч}}=150\text{ м}^3/\text{ч}$ ;

Задаемся количеством флотаторов  $n=2$ . Отсюда расход сточных вод, поступающих в один флотатор равен  $Q_{\text{ф}}=937,5\text{ м}^3/\text{ч}$

1. Определим диаметр флотационной камеры  $D_k$  по формуле 1:

$$D_k = 0,6 \times \sqrt{\frac{Q_{\text{ф}}}{v}} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ф}}$  – расход сточных вод, поступающих на один флотатор,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $v$  – скорость восходящего потока воды, равная 6-8 мм/с.

$$D_k = 0,6 \times \sqrt{\frac{937,5}{6}} = 7,5\text{ м}$$

2. Определим диаметр флотатора  $D_{\text{ф}}$  по формуле 2:

$$D_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{\text{ф}} \times t_0}{\pi \times H_0 \times 60}} \quad (2)$$

где  $t_0$  – время пребывания в отстойной зоне, равное 14-16 мин;  
 $H_0$  – высота отстойной зоны, м.

$$D_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{4 \times 937,5 \times 15}{3,14 \times 1,5 \times 60}} = 14,10\text{ м}$$

3. Определим объем  $W_k$  каждой из камер флотатора

$$W_k = \frac{Q_{\text{ч}} + Q_p}{60 \times \mu_0} \quad (3)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – часовая производительность установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_p$  – расход рециркулирующей воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Величину  $Q_p$  при давлении 5-6 кгс/см<sup>2</sup> принимают в размере  $(0,15-0,2) \times Q_{\text{ч}}$  на каждую работающую флотационную камеру. Если очищаемая вода подается гидроэлеватором, величину  $Q_{\text{ч}}$  для первой камеры принимают равной расходу воды на питание гидроэлеватора и определяют при его расчете;

$\mu_0$  – коэффициент объемного использования флотатора ( $\mu_0 = 0,4$ ).

$$W_k = \frac{937,5 + 22,5}{60 \times 0,4} = 0,94 \text{ м}^3$$

4. Определим рабочую глубину флотатора  $H_\phi$  (м)

$$H_\phi = 0,06 \times V_{\text{восх}} \times t_k \quad (4)$$

где  $t_k$  – продолжительность пребывания воды в камере, рекомендуется принимать 6-8 мин для камер грубой очистки и отстойной и 4-6 мин – для флотационной;

$V_{\text{восх}}$  – скорость восходящего движения воды в камере, мм/с (принимается в пределах 6-8 мм/с).

$$H_\phi = 0,06 \times 6 \times 5 = 1,8 \text{ м}$$

5. Определим ширину флотатора  $B$  (м)

$$B = \sqrt{\frac{W_k}{H_\phi}} \quad (5)$$

$$B = \sqrt{\frac{0,94}{1,8}} = 0,72 \text{ м}$$

Смеситель рассчитывают на пребывание воды в течение 15-20 с.

6. Диаметр смесителя  $d_c$  (мм) определяется по формуле 6

$$d_c = 70 \times \sqrt{Q_{\text{ч}}} \quad (6)$$

$$d_c = 70 \times \sqrt{150} = 857 \text{ мм}$$

7. Определим количество выпавшего осадка  $W_{oc}$

$$W_{oc} = Q_p \times (C_1 - C_2) \quad (7)$$

$$W_{oc} = 1875 \times (150 - 5,4) = 271,125 \text{ кг/ч} = 6,51 \text{ т/сут}$$

## ЗАДАНИЕ

Произвести расчёт флотатора. Исходные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

### Исходные данные для задания

№ вар.	Высота флотационной камеры $H_k$ , м	Расход сточных вод $Q_p$ , м <sup>3</sup> /сут	Производительность установки, $Q_{ч}$ м <sup>3</sup> /ч;	Высота отстойной зоны $H_0$ , м	Содержание взвешенных веществ в сточной воде, г/м <sup>3</sup>	
					начальное	конечное
1	1,3	40000	150	1,3	140	4,6
2	1,6	35000	300	1,4	145	4,8
3	1,1	47000	150	1,6	150	5,7
4	1,4	43000	300	1,5	160	6,0
5	1,2	30000	150	1,4	130	3,6
6	1,0	44500	150	1,3	154	5,5
7	1,7	50000	300	1,6	146	4,2
8	1,8	43000	150	1,5	155	3,9
9	1,5	48000	300	1,7	148	4,9
10	1,9	45900	300	1,6	146	4,6
11	2,0	40200	150	1,3	142	4,5
12	1,4	45130	300	1,5	138	4,1
13	1,3	49000	150	1,8	150	5,3
14	1,7	42700	150	1,6	157	5,8
15	1,9	44000	300	1,5	144	4,9
16	1,2	44900	300	1,4	152	5,1
17	1,8	42120	150	1,3	149	5,0
18	1,4	43020	300	1,5	152	4,3
19	1,6	50100	150	1,6	134	2,9
20	1,5	41500	300	1,4	147	3,5

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Флотация: сущность метода.
2. Классификация флотационного процесса.
3. Схема процесса флотации.
4. Напорная флотация.
5. Импеллерная флотация.
6. Флотация с использованием пористых материалов.
7. Схема установки напорной флотации.
8. Пневматическая флотации.
9. Установки по пневматической флотации .
10. Расчёт флотатора.
11. Достоинства флотации.
12. Стадии напорной флотации.
13. Недостаток импеллерной флотации
14. Преимущества пневматической флотации по сравнению с другими видами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов, М. А. Оценка качества подземных вод и методы их анализа: учебное пособие. – С-Пб.: Проспект науки, 2013. – 134 с.
2. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита водной среды: учебное пособие. – С-Пб. [и др.]: Лань, 2014. - 415 с.
3. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учебное пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 188 с.
4. Другов, Ю. С. Анализ загрязненной воды: практическое руководство. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.
5. Лео М. Л. Ноллет, Лин С.П. Де Гелдер Анализ воды: справочник; пер. с англ. яз. 2-го изд. под ред. И.А. Васильевой, Е.Л. Пролетарской. – С-Пб.: ЦОП «Профессия», 2013. – 919 с.