

РАЗДЕЛ 1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЕЕ ОБРАБОТКИ

1.1. Выбор и обоснование технологической схемы обработки природной воды. Назначение режима реагентной обработки

Метод обработки воды и необходимый для этого состав очистных сооружений и режим реагентной обработки воды (технологическую схему обработки природной воды) выбирают в зависимости от производительности станции водоподготовки, качества воды в источнике и гигиенических требований к питьевой воде, которые регламентируются СанПиН 2.1.4.1074-01, а также ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2280-07. При выборе технологической схемы обработки воды и состава сооружений руководствуются СП 31.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*), данными технологических изысканий, опытом эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях и литературными данными.

Выбор технологии обработки воды можно производить по приложению Б к СП 31.13330.2012 на основании классификации природных вод по качественному составу с учетом антропогенной нагрузки на них, фазово-дисперсного состояния примесей и временного фактора присутствия примесей в заданном интервале концентраций. Выбор технологии следует проводить на основе современных методов технико-экономического сравнения и оценки экологической эффективности технологий для определения наиболее выгодной из них.

При обработке поверхностных вод основная задача водоподготовки – это обеззараживание, осветление и обесцвечивание. В воде питьевого качества необходимо обеспечить мутность $\leq 1,5$ мг/л и цветность $\leq 20^\circ$ (градусов ПКШ или ХКШ). Для предварительного выбора сооружений для осветления и обесцвечивания воды рекомендуется руководствоваться данными таблицы 10 СП 31.13330.2012. Далее выбранную схему дополняют технологическими приемами и сооружениями для снижения окисляемости, запахов, привкусов, микроэлементов, примесей антропогенного происхождения, для предотвращения образования хлорорганических соединений, корректировки содержания фтора в воде и т.д.

Реагентные методы обработки с применением коагулянтов и флокулянтов используют при цветности воды в источнике водоснабжения до 120 град., мутности до 1500 мг/л и при любой производительности станции водоподготовки. При реагентной обработке воды, в зависимости от показателей качества воды в источнике, необходимо применять способы химической обработки и реагенты, рекомендуемые СП 31.13330.2012 и технической литературой. При более высокой мутности воды применяют предварительное безреагентное отстаивание, а для высокоцветных вод (свыше 120 град) – предварительную биологическую очистку и озono-сорбцию (СП 31.13330.2012, приложение Б).

На водозаборных сооружениях или на станции водоподготовки необходимо предусматривать установку сеток с ячейками 0,5-2 мм. При среднемесечном содержании в воде планктона более 1000 кл/мл и продолжительности «цветения» более 1 месяца в году в дополнение к сеткам на водозаборе следует предусматривать установку микрофильтров на водозаборе или на станции водоподготовки.

Отстойники как вертикальные, так и горизонтальные, и осветлители со слоем взвешенного осадка применяют при количестве взвешенных веществ в исходной воде не менее 70 мг/л. Осветлители со взвешенным осадком целесообразно применять при равномерной подаче воды на очистные сооружения и отсутствии резких колебаний температур воды в течение суток. При производительности станции водоподготовки ниже 30 000 м³/сут как альтернативу вертикальным отстойникам и осветлителям со взвешенным осадком можно применять горизонтальные отстойники с тонкослойными модулями.

Фторирование воды осуществляется при недостатке фтора в природной воде, а обесфторирование – при его избытке. Рекомендуемое содержание фтора в питьевой воде для климатических районов 1 и 2 (северных) – 1,5 мг/л; для 3 (среднего) района – 1,2 мг/л; для 4 (южного) района – 0,7 мг/л.

Задание 1.1. Определить метод обработки воды и состав очистных сооружений (основных и дополнительных)

Таблица 1

Основные показатели	Ед. измер.	Значения по вариантам			
		1	2	3	4
Производительность станции (с учётом собственных нужд)	м ³ /сут	23000	200000	60000	24000
Мутность	мг/л	300	60	450	16
Цветность	град.	80	50	90	40
Вкус	балл	3	2	2	3
Запах	балл	2	3	2	2
pH	–	6,5	7,5	8	6,9
Щёлочность	мг-экв/л	0,9	1,2	0,96	1,9
Общая жёсткость	мг-экв/л	4	6	5	4
Железо	мг/л	0,35	0,4	0,5	0,3
Фтор	мг/л	0,8	0,4	0,0	0,9
Сухой остаток	мг/л	300	400	250	305

Вариант 1

+ осветлители со слоем взвешенного осадка, скорые фильтры

– контактные осветлители

- горизонтальные отстойники, скорые фильтры
- скорые безнапорные фильтры
- две ступени отстойников, скорые фильтры
- трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления

Вариант 2

- осветлители со слоем взвешенного осадка, скорые фильтры
- + контактные осветлители
- горизонтальные отстойники, скорые фильтры
- скорые безнапорные фильтры
- две ступени отстойников, скорые фильтры
- трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления

Вариант 3

- осветлители со слоем взвешенного осадка, скорые фильтры
- контактные осветлители
- + горизонтальные отстойники, скорые фильтры
- скорые безнапорные фильтры
- две ступени отстойников, скорые фильтры
- трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления

Вариант 4

- осветлители со слоем взвешенного осадка, скорые фильтры
- контактные осветлители
- горизонтальные отстойники, скорые фильтры
- + скорые безнапорные фильтры
- две ступени отстойников, скорые фильтры
- трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления

Задание 1.2. Даны характеристики исходной воды и состав основных сооружений по осветлению и обесцвечиванию воды. Необходимо выбрать дополнительные сооружения и методы обработки воды (может быть один вариант ответа или несколько).

Производительность станции – 25 000 м³/сут; мутность – 250 мг/л; цветность – 80 град; фтор – 0,8 мг/л (климатический район 2); щёлочность – 0,9 мг-экв/л; общая жёсткость – 4 мг-экв/л; фитопланктон – 2000 кл/мл, выбрана схема с осветлителями со слоем взвешенного осадка и скорыми фильтрами.

- + микрофильтры
- + фторирование
- первичное озонирование
- сорбционная обработка активированным углем
- умягчение
- обесфторирование

Производительность станции – 120 000 м³/сут; мутность – 60 мг/л; цветность – 50 град; фтор – 0,4 мг/л (климатический район 3); щёлочность – 1,2 мг-экв/л; общая жёсткость – 6 мг-экв/л; фитопланктон – 800 кл/мл, выбрана схема с контактными осветлителями.

- микрофильтры
- + фторирование
- первичное озонирование
- сорбционная обработка активированным углем
- умягчение
- обесфторирование

Производительность станции – 60 000 м³/сут; мутность – 100 мг/л; цветность – 140 град; фтор – 1,2 мг/л (климатический район 3); щёлочность – 2,2 мг-экв/л; общая жёсткость – 1,5 мг-экв/л; фитопланктон – 3000 кл/мл, выбрана схема с горизонтальными отстойниками и скорыми фильтрами.

- + микрофильтры
- фторирование
- + первичное озонирование
- + сорбционная обработка активированным углем
- умягчение
- обесфторирование

Производительность станции – 20 000 м³/сут; мутность – 10 мг/л; цветность – 40 град; фтор – 0,2 мг/л (климатический район 1); щёлочность – 6,5 мг-экв/л; общая жёсткость – 8,5 мг-экв/л; фитопланктон – 600 кл/мл, выбрана схема со скорыми безнапорными фильтрами.

- микрофильтры
- + фторирование
- первичное озонирование
- сорбционная обработка активированным углем
- + умягчение
- обесфторирование

Задание 1.3. Даны характеристики исходной воды и состав основных сооружений по осветлению и обесцвечиванию воды. Задан режим реагентной обработки воды и используемые реагенты: гипохлорит натрия, известковое молоко, коагулянт, озон, фторсодержащий реагент, хлор.

Задание: указать последовательность ввода реагентов?

А. хлор, озон, гипохлорит натрия (первичное хлорирование, первичное обеззараживание)

Б. коагулянт

В. известковое молоко

Г. флокулянт

Д. фторсодержащий реагент

Е. хлор (вторичное хлорирование)

Правильная последовательность А-Б-В-Г-Д-Е

1.2. Составление высотно-технологической схемы очистки воды

Высотно-технологическая схема представляет собой совокупность сооружений и трубопроводов, по которым вода последовательно движется в процессе очистки. Схема должна быть дополнена сооружениями, оборудованием и трубопроводами, используемыми для приготовления и дозирования реагентов, подачи промывной воды, водонапорной башней для хранения промывной воды, резервуарами чистой воды, насосной станцией второго подъема и сооружениями для обработки промывной воды и осадка. На схеме указывают отметки уровней воды в технологических сооружениях. На высотной схеме, выполняемой в произвольном масштабе, кроме отметок уровня воды, наносят отметки дна сооружений.

При проектировании высотной схемы за нулевую отметку принимают максимальную отметку уровня воды в резервуаре чистой воды и в зависимости от нее рассчитывают отметки воды в остальных сооружениях в порядке, обратном движению воды. Например: резервуар чистой воды (РЧВ) - фильтр - отстойник или осветлитель со слоем взвешенного осадка - камера хлопьеобразования - смеситель - микрофильтр. Максимальный уровень воды в резервуаре принимают на 0,5-1 м выше поверхности земли. Ориентировочные потери напора в сооружениях принимают по СП 31.13330.2012 (п. 9.190).

При составлении высотной схемы очистных сооружений необходимо учитывать рельеф площадки, глубину залегания грунтовых вод, максимальный уровень воды в реке в период паводка (во избежание затопления), возможность самотечного отвода сточных вод и осадков из очистных сооружений.

Задание 1.4. Пользуясь СП 31.13330.2012 рассчитать примерный перепад уровней воды в сооружениях станции водоподготовки (разницу между отметкой воды в первом сооружении и максимальным уровнем воды в РЧВ).

При расчетах из СП 31.13330.2012 брать только максимальные значения величин перепадов уровней воды в сооружениях и соединительных коммуникациях. Если не указано иное, технологическая схема включает только сооружения для осветления и обесцвечивания воды; смесители и камеры хлопьеобразования – гидравлические; во всех схемах присутствует первичное и вторичное хлорирование.

Вариант 1. Схема водоподготовки: горизонтальные отстойники – скорые фильтры

– 5 м

– 6 м

– 7 м

+ 8 м

- 9 м
- 10 м

Вариант 2. Схема водоподготовки: микрофильтры – контактные осветлители

- + 5 м
- 6 м
- 7 м
- 8 м
- 9 м
- 10 м

Вариант 3. Схема водоподготовки: осветлители со слоем взвешенного осадка – скорые фильтры

- 5 м
- 6 м
- 7 м
- + 8 м
- 9 м
- 10 м

Вариант 4. Схема водоподготовки: безнапорные скорые фильтры, обеззараживание только вторичное – ультрафиолетовым облучением.

- 5 м
- 6 м
- + 7 м
- 8 м
- 9 м
- 10 м

Задание 1.5. Подберите сооружения для технологических схем обработки промывных вод или осадка в соответствии с их назначением в схемах водоподготовки.

Вариант 1. Выберите сооружения, входящие в состав технологической схемы оборота промывных вод скорых фильтров в двухступенчатых схемах водоподготовки.

- + песколовка
- + резервуар-усреднитель
- отстойник периодического действия
- + насосная станция перекачки промывных вод
- уплотнитель / сгуститель
- центрифуга
- вакуум-фильтр

Вариант 2. Выберите сооружения, входящие в состав технологической схемы обработки промывных вод контактных осветлителей.

- + песколовка
- резервуар-усреднитель
- + отстойник периодического действия
- + насосная станция перекачки промывных вод
- уплотнитель / сгуститель
- центрифуга
- вакуум-фильтр

Вариант 3. Выберите сооружения, входящие в состав технологической схемы обработки промывных вод фильтровальной станции для обезжелезивания подземных вод.

- + песколовка
- + отстойник периодического действия
- + насосная станция перекачки промывных вод
- уплотнитель / сгуститель
- центрифуга
- вакуум-фильтр

Вариант 4. Выберите сооружения, входящие в состав технологической схемы обработки осадка из горизонтальных отстойников.

- песколовка
- резервуар-усреднитель
- отстойник периодического действия
- насосная станция перекачки промывных вод
- + приемный резервуар
- + уплотнитель / сгуститель
- + ленточный фильтр-пресс
- + установка приготовления и дозирования флокулянта

РАЗДЕЛ 2. ОСВЕТЛЕНИЕ, ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

2.1. Определение доз реагентов: коагулянт, флокулянт, известь

Расчетные дозы реагентов (коагулянтов и флокулянтов, хлора, фтора, извести) устанавливаются для различных периодов года в зависимости от качества исходной воды, на основании технологических изысканий или по аналогии с водоочистой станцией, работающей в подобных условиях. Расчетные дозы корректируют в период наладки и эксплуатации сооружений; при этом надлежит учитывать допустимые их остаточные концентрации в обработанной воде.

Дозу коагулянта D_k , мг/л, в расчете на $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ (по безводному веществу) принимают при обработке: мутных вод – по табл. 2.1, цветных вод – по формуле:

$$D_k = 4 \cdot \sqrt{C}, \quad (1)$$

где C – цветность обрабатываемой воды, град.

Таблица 2.1

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л
< 100	25 – 35
100 – 200	30 – 40
200 – 400	35 – 45
400 – 600	45 – 50
600 – 800	50 – 60
800 – 1000	60 – 70
1000 – 1500	70 – 80

Примечания:

1. Меньшие значения доз, определенных по таблице 2.1 относятся к воде, содержащей грубодисперсную взвесь.

2. При одновременном содержании в воде взвешенных веществ и цветности принимается большая из доз коагулянта, определенных по табл. 2.1 и формуле.

3. При применении контактных осветлителей или фильтров, работающих по принципу коагуляции в зоне фильтрующей загрузки, дозу коагулянта следует принимать на 10 – 15 % меньше, чем по табл. 2.1 и формуле.

4. При использовании в качестве коагулянтов солей железа $FeCl_3$ (хлорное железо) и $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (железный купорос) дозы коагулянта по безводному продукту для очистки цветных и маломутных вод следует принимать по тем же данным, а в случае обработки мутных вод расчетные дозы реагентов следует уменьшить на 10 – 20% по сравнению с сернокислым алюминием.

Для интенсификации процесса коагуляции в дополнение к основным коагулянтам применяют флокулянты: полиакриламид (ПАА) и производные на его основе, флокулянты серии Праестол, ВПК-402 и другие.

Расчетную дозу флокулянта при проектировании принимают следующим образом.

Дозу полиакриламида (ПАА) в пересчете на 100-процентный продукт принимают в зависимости от места его введения:

– перед отстойниками и осветлителями со взвешенным осадком (в соответствии с табл. 2.2;

– перед фильтрами при двухступенчатой очистке – 0,05 – 0,1 мг/л;

– перед контактными осветлителями и скорыми фильтрами при одноступенчатой очистке – от 0,2 до 0,6 мг/л.

Таблица 2.2

Мутность воды, мг/л	Цветность воды, град	Доза безводного ПАА, мг/л
< 10	Св. 50	1,0 – 1,5
10 – 100	30 – 100	0,3 – 0,6
100 – 500	20 – 60	0,2 – 0,5
500 – 1500	–	0,2 – 1,0

Флокулянты следует вводить в воду после коагулянта. При очистке высокомутных вод допускается ввод флокулянтов до коагулянтов. Следует предусматривать возможность ввода флокулянтов и коагулянтов с разрывом во времени до 2 – 3 мин в зависимости от качества обрабатываемой воды.

В случаях, когда источником водоснабжения служат поверхностные воды, обеззараживание воды производят в два этапа: предварительное хлорирование (или озонирование) – перед поступлением ее на очистную станцию дозой хлора 3 – 6 мг/л (или озона 1 – 3 мг/л) (см. табл. 2.3) и для окончательного обеззараживания воды после фильтров – дозой хлора 2 – 3 мг/л. Для обработки подземных вод используют одноразовое обеззараживание воды дозами хлора 0,7 – 1 мг/л.

Таблица 2.3

Ориентировочные дозы окислителей для удаления органических веществ из воды, снижения интенсивности привкусов и запахов

Перманганатная окисляемость воды, мгО ₂ /л	Доза окислителя, мг/л		
	хлора	перманганата калия	озона
8 – 10	4 – 8	2 – 4	1 – 3
10 – 15	8 – 12	4 – 6	3 – 5
15 – 25	12 – 14	6 – 10	5 – 8

При недостаточной щелочности воды её следует подщелачивать. Подщелачивание воды производят содой, едким натром или известью. Дозу подщелачивающего реагента, мг/л, рассчитывают по формуле

$$D_{щ} = k_{щ} \cdot \left(\frac{D_k}{e_k} - Ш_o \right) + 1, \quad (2)$$

$$D_{щ} = k \cdot \left(\frac{D_k}{e_k} - Щ + 1 \right), \quad (3)$$

где $k_{щ}$ – коэффициент, равный для извести (по CaO) – 28, для едкого натра (по NaOH) – 40, для соды (по Na₂CO₃) – 53; D_k – максимальная доза безводного коагулянта, мг/л; e_k – эквивалентная масса безводного коагулянта, мг/мг-экв, для Al₂(SO₄)₃ – 57, FeCl₃ – 54, FeSO₄ – 67; $Щ_0$ – минимальная щёлочность исходной воды, мг-экв/л.

При отрицательном значении $D_{щ}$ подщелачивание не требуется.

В случае, если концентрация фтора в воде источника водоснабжения составляет менее 0,7 мг/л, необходимо предусмотреть фторирование.

Фторирование воды осуществляют фтористым натрием, кремнефтористым натрием или кремнефтористым аммонием. Дозу фторсодержащего реагента, $D_{ф_2}$ мг/л, определяют по формуле

$$D_{ф} = [m \cdot a \cdot (F^-)] \cdot \frac{100}{k} \cdot \frac{100}{C_{ф}}, \quad (4)$$

где m – коэффициент, учитывающий потери фтора в зависимости от места ввода реагента. При введении фторсодержащего реагента после очистных сооружений $m = 1$, перед скорыми фильтрами или контактными осветлителями $m = 1,1$; a – необходимая концентрация фтора в воде, принимаемая в зависимости от климатических условий. Рекомендуемое содержание фтора в питьевой воде для климатических районов 1 и 2 (северных) – 1,5 мг/л; для 3 (среднего) района – 1,2 мг/л; для 4 (южного) района – 0,7 мг/л; (F^-) – содержание фтора в исходной воде, мг/л; k – содержание фтора в чистом реагенте, %; $C_{ф}$ – содержание чистого вещества в техническом продукте, %.

Значения k и $C_{ф}$ приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Соединение	Содержание фтора в чистом веществе, k , %	Содержание чистого вещества в техническом продукте, $C_{ф}$, %		
		высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
Натрий фтористый	45	94	84	80
Натрий кремнефтористый	61	98	95	93
Аммоний кремнефтористый	64	–	–	98

Места ввода реагентов:

1. Хлорсодержащие реагенты (при предварительном хлорировании):

- а) во всасывающие трубопроводы насосной станции 1-го подъема;
- б) в напорные водоводы, подающие воду на водоочистную станцию.

2. Коагулянт следует вводить в трубопровод перед смесителем или в смеситель.

3. Реагент для подщелачивания воды следует вводить одновременно с коагулянтом.

4. Флокулянты вводят через 2 – 4 мин после введения коагулянта.

5. Фтор вводят перед РЧВ, либо перед скорыми фильтрами.

Задание 2.1. Подберите дозу коагулянта сернокислого алюминия (по безводному веществу) для следующих составов обрабатываемой воды.

Вариант 1. Мутность – 210 мг/л, цветность – 60 град, взвесь – преимущественно грубодисперсная.

- 25 мг/л
- 30 мг/л
- + 35 мг/л
- 40 мг/л
- 45 мг/л
- 50 мг/л

Вариант 2. Мутность – 50 мг/л, цветность – 95 град.

- 25 мг/л
- 30 мг/л
- 35 мг/л
- + 40 мг/л
- 45 мг/л
- 50 мг/л

Вариант 3. Мутность – 450 мг/л, цветность – 70 град, взвесь – преимущественно грубодисперсная.

- 25 мг/л
- 30 мг/л
- 35 мг/л
- 40 мг/л
- + 45 мг/л
- 50 мг/л

Вариант 4. Мутность – 15 мг/л, цветность – 40 град, взвесь – преимущественно мелкодисперсная.

- + 25 мг/л
- 30 мг/л
- 35 мг/л
- 40 мг/л
- 45 мг/л
- 50 мг/л

Вариант 5. Мутность – 80 мг/л, цветность – 70 град, взвесь – преимущественно мелкодисперсная. Схема с контактными осветителями.

- 25 мг/л
- 30 мг/л
- + 35 мг/л
- 40 мг/л
- 45 мг/л
- 50 мг/л

Задание 2.2. Определите, требуется ли подщелачивание исходной воды известью при обработке ее коагулянтном, и если да, то какой дозой?

Вариант 1. Доза коагулянта сернокислого алюминия 40 мг/л, минимальная щелочность исходной воды – 2,3 мг-экв/л.

- + подщелачивание не требуется
- требуется подщелачивание дозой 5 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 10 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 15 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 20 мг/л

Вариант 2. Доза коагулянта сернокислого алюминия 80 мг/л, минимальная щелочность исходной воды – 1,1 мг-экв/л.

- подщелачивание не требуется
- требуется подщелачивание дозой 5 мг/л
- + требуется подщелачивание дозой 10 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 15 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 20 мг/л

Вариант 3. Доза коагулянта хлорида железа 75 мг/л, минимальная щелочность исходной воды – 0,7 мг-экв/л.

- подщелачивание не требуется
- требуется подщелачивание дозой 5 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 10 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 15 мг/л
- + требуется подщелачивание дозой 20 мг/л

Вариант 4. Доза коагулянта сернокислого алюминия 35 мг/л, минимальная щелочность исходной воды – 1,5 мг-экв/л.

- + подщелачивание не требуется
- требуется подщелачивание дозой 5 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 10 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 15 мг/л
- требуется подщелачивание дозой 20 мг/л

Задание 2.3. Определите, требуется фторирование воды, и если да, то какой дозой?

Вариант 1. Содержание фтора в исходной воде – 1,5 мг/л, климатическая зона – 2, имеющийся реагент для фторирования – кремнефтористый натрий, высший сорт, вводится после очистных сооружений.

+ фторирование не требуется

– требуется фторирование дозой 1 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 1,5 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 2 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 2,5 мг/л (по техническому продукту)

Вариант 2. Содержание фтора в исходной воде – 0,6 мг/л, климатическая зона – 2, имеющийся реагент для фторирования – кремнефтористый натрий, высший сорт, вводится после очистных сооружений.

– фторирование не требуется

– требуется фторирование дозой 1 мг/л (по техническому продукту)

+ требуется фторирование дозой 1,5 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 2 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 2,5 мг/л (по техническому продукту)

Вариант 3. Содержание фтора в исходной воде – 0,15 мг/л, климатическая зона – 3, имеющийся реагент для фторирования – фтористый натрий, высший сорт, вводится после очистных сооружений.

– фторирование не требуется

– требуется фторирование дозой 1 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 1,5 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 2 мг/л (по техническому продукту)

+ требуется фторирование дозой 2,5 мг/л (по техническому продукту)

Вариант 4. Содержание фтора в исходной воде – 0,4 мг/л, климатическая зона – 1, имеющийся реагент для фторирования – кремнефтористый натрий, первый сорт, вводится после очистных сооружений.

– фторирование не требуется

– требуется фторирование дозой 1 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 1,5 мг/л (по техническому продукту)

+ требуется фторирование дозой 2 мг/л (по техническому продукту)

– требуется фторирование дозой 2,5 мг/л (по техническому продукту)

2.2. Расчет сооружений по приему, хранению, приготовлению и дозированию раствора коагулянта и флокулянта, фтора и известкового молока

Реагенты подают в обрабатываемую воду, как правило, в виде растворов и суспензий. Приготовление раствора коагулянта зависит от выбранного метода его хранения. Существует "мокрое" и "сухое" хранение коагулянта. При

"сухом" хранении приготовление раствора осуществляют в растворных баках, а для разбавления раствора до концентрации 4...12%, при которой коагулянт подается в воду, используют расходные баки. При "мокром" хранении коагулянта растворные баки одновременно используются и как резервуары-хранилища. Расчет сооружений для "мокрого" хранения коагулянта следует производить из условия применения кускового неочищенного сернокислого алюминия с содержанием в нем безводного продукта $P_c = 33,5\%$.

Суточный расход товарного коагулянта Q_k , т/сут, определяют по формуле

$$Q_k = \frac{Q_{ac} \cdot D_k}{100 P_c} \quad (5)$$

где P_c - содержание безводного продукта в коагулянте, %.

На станции водоподготовки необходимо предусматривать 15...30 - суточный запас коагулянта. Вместимость баков для мокрого хранения принимают из расчета 1,8 м³ на 1 т коагулянта. Дополнительно учитывают объем осадка, который составляет 0,7 м³ (т.е. примерно 28% от общего объема) на 1 т коагулянта. Количество баков для мокрого хранения принимают не менее трех. В баках-хранилищах находится насыщенный раствор коагулянта, соответствующий его растворимости.

Концентрацию раствора коагулянта в растворных баках, считая по чистому и безводному продукту, принимают до 17 % - для неочищенного, до 20 % - для очищенного кускового, до 24 % - для очищенного гранулированного; до 12 % - в расходных баках.

Коагулянт забирают из верхней части баков-хранилищ с помощью поплавка и гибкого шланга и отводят в расходные баки. Количество расходных баков принимают не менее двух. При этом необходимо обеспечить постоянное наличие раствора в баках в течение суток. Объем, расходных баков, м³, определяют по формуле

$$W_p = \frac{q n D_k}{100 \rho b} \quad (6)$$

где q – расчетный расход воды, м³/ч; D_k – максимальная доза коагулянта, считая по безводному продукту, мг/л; n – время, на которое заготавливается раствор коагулянта, равное 6-12 ч; b – концентрация раствора коагулянта, равная 10 - 12%; ρ – плотность раствора коагулянта, т/м³, $\rho = 1$ т/м³.

Материалы, идущие на изготовление трубопроводов для транспортирования коагулянта, должны быть кислотостойкими. Схема мокрого хранения коагулянта представлена в [7].

Раствор ПАА готовят с помощью установок типа УРП-2 производительностью 6 кг/ч, считая по чистому продукту, или 600 л/ч 1%-ного раствора ПАА.

При приготовлении раствора АКК используют аппарат ДАК-10. Производительность аппарата по SiO_2 3...11 кг/ч. Технические характеристики установки приведены в прил. 1.

Известь в воду подают для увеличения щелочного резерва воды. При использовании комковой извести её гасят в известегасилках, характеристики которых приведены в прил. 2.

Известковое молоко следует готовить в баках, количество которых принимают не менее двух. Объем баков определяют по формуле (6), в которой вместо D_k подставляют дозу извести $D_{ш}$, считая по CaO , г/м³; концентрация известкового молока $b = 5\%$; время, на которое заготавливается раствор $n = 6 - 12$ ч; плотность известкового молока $\rho \approx 1$ т/м³.

Гидравлическое или механическое перемешивание извести предусматривают сжатым воздухом.

Минимальный диаметр трубопроводов для транспортирования известкового молока – 25 мм, скорость движения раствора – не менее 0,8 м/с.

Фторсодержащие реагенты следует растворять в сатураторах при использовании кремнефтористого натрия и в расходных баках с воздушным перемешиванием при использовании кремнефтористого натрия и кремнефтористого аммония.

Производительность сатураторов q_c , л/ч, по насыщенному раствору кремнефтористого натрия рассчитывают по формуле

$$q_c = \frac{D_f \cdot q}{n_c \cdot p} \quad (7)$$

где D_f – доза фтора, мг/л; м³/ч; n_c – количество сатураторов во фтораторной; p – растворимость кремнефтористого натрия, г/л (при 0°C – 4,3; при 20°C – 7,3; при 40°C – 10,3),.

Объем сатуратора вычисляют, исходя из скорости восходящего потока воды до 0,1 мм/с и времени пребывания раствора в нем более 5 ч.

При проектировании расходных баков следует использовать формулу (6), при этом концентрацию рабочего раствора b , %, принимают: для кремнефтористого аммония – 7; для фтористого натрия – 2,5; для кремнефтористого натрия при 0°C – 0,25, при 25°C – 0,5.

Установка для фторирования воды описана в [6; 7; 8].

Наиболее часто применяют перемешивание растворов сжатым воздухом. Интенсивность подачи воздуха q_v , л/(с·м²), принимают для растворения коагулянта и фторсодержащего реагента – 8...10; для перемешивания коагулянтов в расходных баках – 3...5; для перемешивания известкового раствора – 8...10.

После определения суммарного расхода воздуха, необходимого для приготовления растворов, подбирают воздуходувки.

Зная расход и напор воздуха, создаваемый воздуходувкой, определяют диаметр воздухопровода d , м, по скорости движения воздуха $V = 10 - 15$ м/с:

$$d = \sqrt{\frac{W}{60 \cdot V \cdot \gamma}} \quad (8)$$

где W – производительность воздуходувки, м³/мин; p – давление, развиваемое воздуходувкой, кгс/см² (обычно $p = 1,5$ кгс/см²).

Потери давления по длине воздухопровода p_1 , кгс/см², определяют по формуле

$$R = \frac{1,25 G^2 L}{\gamma d^5} \quad (9)$$

где β – коэффициент сопротивления воздуха при 0°С (прил.3); G – массовый расход воздуха, проходящего через трубопровод в течение 1 ч, кг/ч, $G = W \cdot 60 \cdot \gamma$; L – длина воздухопровода, м; γ – удельный вес сухого воздуха, кг/м³, при 0°С (прил.3); d – диаметр воздухопровода, мм.

Потери давления p_2 , мм вод. ст., на местные сопротивления определяют по формуле

$$p_2 = 0,063 V^2 \sum \zeta \quad (10)$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления, принимаемый по прил. 4.

Дозирование в обрабатываемую воду растворов реагентов производят насосами-дозаторами. Последние выпускают в двух модификациях, рассчитанных на дозирование растворов коагулянта и других кислых и нейтральных сред или известкового молока (в этом случае насосы-дозаторы в своем названии имеют индекс "И").

Насос, необходимый для дозирования реагента, подбирают по напору и производительности. Характеристики насосов-дозаторов даны в прил. 5.

Задание 2.4. Следует определить расход коагулянта и объем разовой поставки для станции производительностью 60000 м³/сут, исходя из необходимости наличия 15-ти суточного запаса при мутности воды 450 мг/л и цветности 50 град.

- 9,4 т и 282 т
- 9,4 т и 141 т
- + 8,1 т и 121,5 т
- 8,1 т и 243 т
- 7,2 т 216 т
- 7,2 т и 108 т

Правильный ответ:

Дозу сернокислого алюминия определяем по двум показателям:

- мутности [2, СНиП табл.17] ; $D_k = 45$ мг/л;

- цветности (по формуле (2)), ~~$D_k = 45 \cdot 2,8$~~

Выбираем максимальное значение дозы – 45 мг/л.

Суточный расход товарного сернокислого алюминия определяем по формуле (5):

$$Q_k = \frac{60000 \cdot 45}{10000 \cdot 33,5} = 8,1 \text{ т/сут,}$$

Количество коагулянта с учетом запаса на 15 дней составит 121,5 т.

Задание 2.5. Определить общую вместимость растворных баков с подрешеточной частью и размеры каждого бака, исходя из данных предыдущей задачи. Количество баков принять равным 4, форма баков в виде квадрата.

– 244,4 м³ и 6х7х1,46 м

+ 303,7 м³ и 6х6х2,20 м

– 198,1 м³ и 5х6х1,65 м

Правильный ответ

Принимаем «мокрое» хранение коагулянта в железобетонных баках. Вместимость баков-хранилищ принимаем из расчета 1,8 м³ на 1 т коагулянта (218,7 м³). Объем осадочной, подрешеточной части принимаем из расчета 0,7 м³ на 1 т коагулянта (т.е. 85,05 м³). Высоту принимаем в пределах 1,5...2 м.

К установке принимаем четыре бака. Объем каждого составляет 54,7 м³, а объем подрешеточной части 21,26 м³. Суммарный объем одного бака 75,96 м³. Размеры баков А × В = 6 × 6 м при строительной высоте 2,2 м.

Задание 2.6. Определить объем и размеры расходных баков. Исходные данные для расчета взять из задания 2.4. Принимаем, что раствор в расходном баке готовится на 12 часов.

– 15,6 м³ и 4х2х2 м

+ 13,5 м³ и 4х2х1,7 м

+ 9,8 м³ и 3х3х1,6 м

Правильный ответ

Вместимость расходных баков определяем по формуле (6):

$$W_p = \frac{2500 \cdot 12 \cdot 45}{10000 \cdot 10 \cdot 1} = 13,5 \text{ м}^3.$$

Вместимость одного бака принимаем равной $13,5 \text{ м}^3$, а размер $A \times B = 4 \times 2$ м при высоте 1,7 м, количество баков – 3 шт. Расход раствора коагулянта, подаваемого в смеситель в течение 1 часа, $13,5 / 12 = 1,12 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2.3. Определение параметров смешения реагентов с обрабатываемой водой. Расчет вихревого смесителя. Расчет механического смесителя

Смесительные устройства (смесители) обеспечивают быстрое (не более 2 мин) и равномерное перемешивание вводимого реагента (коагулянта) с обрабатываемой водой, а также последовательность введения всех требуемых реагентов с соблюдением временного разрыва.

Смешивать реагенты с обрабатываемой водой следует в открытых (гидравлических) смесителях, которые конструктивно делят на дырчатые, перегородчатые, коридорные и вихревые (вертикальные).

Механические смесители применяют только в случае, когда гидравлические смесители применять экономически нецелесообразно.

При проектировании смесителей необходимо устраивать обводной трубопровод в обход смесителя. Резервный смеситель не предусматривают.

Наиболее широкое применение нашли вихревые смесители, обеспечивающие высокий эффект перемешивания исходной воды с реагентами, особенно для воды с высокой мутностью и при использовании извести для подщелачивания.

Вихревые (вертикальные) смесители устраивают круглыми или прямоугольными в плане с конусным или с пирамидальным днищем, с углом между стенками днища 30 – 45 град. Подвод воды в вихревой смеситель следует предусматривать сбоку в нижнюю часть. Скорость выхода воды из подводящего трубопровода в нижнюю часть принимают в пределах 1...1,2 м/с, скорость восходящего потока воды на уровне водосборного устройства сверху смесителя 0,03...0,04 м/с (108...144 м/ч), скорость движения воды с конце водосборного лотка принимают 0,6 м/с.

В смесителе следует предусматривать переливной трубопровод, а также трубопровод для опорожнения и выпуска осадка.

Расчет смесителя сводят к определению его линейных размеров. Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м^2 , рассчитывают по формуле

$$F_{\text{в}} = \frac{q}{V_{\text{в}}} \quad (11)$$

где q – часовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; $V_{\text{в}}$ – скорость движения воды в верхней части, м/ч.

Для квадратного в плане смесителя ширина, м, в верхней части $b_{\text{в}} = \sqrt{F_{\text{в}}}$, а для круглой формы – диаметр

$$d_g = \sqrt{1,273 \cdot F_g} \quad (12)$$

Размеры нижней части смесителя принимают равными диаметру подводящего трубопровода, скорость движения воды в котором 1...1,2 м/с. Высоту нижней пирамидальной (конусной) части смесителя, м, определяют по формуле

$$h_n = \frac{1}{2} \cdot (b_g - b_n) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (13)$$

где b_n – ширина (диаметр d_n) нижней части смесителя, равная наружному диаметру подающего трубопровода, м, (определяют по таблице Шевелева); α – угол между наклонными стенками днища, $\alpha = 30...45^\circ$.

Объем пирамидальной (конусной) части смесителя, м^3 , определяют по формуле

$$W_n = \frac{1}{3} \cdot h_n \cdot (F_g + F_n + \sqrt{F_g \cdot F_n}) \quad (14)$$

где F_v – площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м^2 ; F_n – площадь горизонтального сечения в нижней части смесителя, м^2 .

Полный объем смесителя W , м^3 , рассчитывают по формуле

$$W = \frac{q \cdot t}{60} \quad (15)$$

где t – время пребывания воды в смесителе, 1,5...2 мин.

Объем верхней части смесителя W_v , м^3

$$W_v = W - W_n, \quad (16)$$

Высота верхней части h_v , м

$$h_v = \frac{W_v}{F_g} \quad (17)$$

Полная высота смесителя H , м:

$$H = h_v + h_n \quad (18)$$

Для сбора воды применяют лотки, расположенные по периметру смесителя. Вода, протекающая по лоткам в направлении бокового кармана,

разделяется на два потока. Площадь живого сечения лотка ω , м^2 , рассчитывают по формуле

$$\omega = \frac{q}{3600 \cdot V_{\text{л}} \cdot n}, \quad (19)$$

где $V_{\text{л}}$ – скорость движения воды в лотке, 0,6 м/с; n - число водосборных лотков. Если лоток расположен по периметру смесителя, то $n = 1$.

Задаваясь шириной лотка b , находят высоту слоя воды в нем h , м

$$h = \frac{\omega}{b} \quad (20)$$

Уклон дна лотка принимают $i = 0,002$. Площадь всех затопленных отверстий F_o , м^2 , в стенках сборных лотков

$$F_o = \frac{q}{V_o \cdot 3600}, \quad (21)$$

где V_o – скорость движения воды через отверстия $V_o = 1$ м/с.

Задаваясь размерами одного отверстия f_o , находят их количество:

$$n_o = \frac{F_o}{f_o}. \quad (22)$$

Расстояние между осями отверстий l_o , м, определяют по формуле

$$l_o = \frac{P_{\text{л}}}{n_o}, \quad (23)$$

где $P_{\text{л}}$ – внутренний периметр лотка, м.

Задание 2.7. Рассчитать смеситель по данным, представленным в задании 1.1 (вариант 1). Производительность 23000 $\text{м}^3/\text{сут}$.

Принимаем два вертикальных смесителя вихревого типа (п.9.34, [2]). Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя определяем по формуле (11)

$$F_s = \frac{q}{nV_s} = \frac{958,4}{2 \cdot 100} = 4,79 \text{ м}^2,$$

где $V_s = 100$ м/ч – скорость восходящего потока в верхней части.

Принимаем смесители квадратные в плане. Сторона квадратного смесителя

$$l_g = \sqrt{4,79} \approx 2,19 \text{ м.}$$

Диаметр трубопровода, подающего воду в смеситель, принимаем по секунднему расходу $266,2 / 2 = 133,1$ л/с и скорости движения воды $1 \dots 1,2$ м/с. Условный диаметр трубы равен 350 мм. Внутренний диаметр трубопровода 363 мм, наружный 377 мм, скорость 1,29 м/с, $1000i = 6,70$ м (диаметр трубы находим по таблицам Шевелева).

Высоту пирамидальной части смесителя определяем по формуле (13) при $\alpha = 40^\circ$:

$$h = 0,5 \cdot (2,19 - 0,377) \cdot 2,747 = 2,49 \text{ м.}$$

Объем пирамидальной части смесителя (14)

$$W_u = \frac{1}{3} \cdot 2,49 \cdot (4,79 + 0,377^2 + \sqrt{4,79 \cdot 0,377^2}) = 4,77 \text{ м}^3.$$

Полный объем смесителя по формуле (15):

$$W = \frac{q \cdot t}{n \cdot 60} = \frac{958,4 \cdot 1,5}{2 \cdot 60} = 11,98 \text{ м}^3,$$

где t – время пребывания воды в смесителе (1,5 - 2 мин); n – количество смесителей ($n = 2$ шт.).

Объем верхней части смесителя:

$$W_b = 11,98 - 4,77 = 7,21 \text{ м}^3.$$

Высота верхней части смесителя (принимаем в пределах $1 \dots 1,5$ м) по формуле (17):

$$h_g = \frac{7,21}{4,79} = 1,51 \text{ м.}$$

Полная высота смесителя $H = 2,49 + 1,51 = 4,0$ м.

Сбор воды осуществляем сборным желобом через затопленные отверстия. На выходе из желоба в лотке смесителя устанавливают сороудерживающую сетку с ячейками 4×4 мм.

Дальнейший расчет смесителя осуществляем по формулам (19) – (23). Смеситель оборудован переливной трубой $d = 400$ мм.

2.4. Расчет гидравлической камеры хлопьеобразования. Расчет механической камеры хлопьеобразования

При проектировании горизонтальных отстойников следует применять встроенные КХО, так как они наиболее эффективны по сравнению с другими.

Встроенные КХО со слоем взвешенного осадка (а также вихревые) располагают в начале горизонтального отстойника. Скорость восходящего потока в верхнем сечении камеры хлопьеобразования следует принимать в зависимости от мутности воды от 0,9 до 2,2 мм/с. Время пребывания воды в камере назначают не менее 20 мин, слой взвешенного осадка ~ менее 3 м.

Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования производят с помощью перфорированных труб или каналов с отверстиями, направленными горизонтально или вниз под углом 45° . Скорость движения воды в распределительных трубах следует принимать в пределах 0,5...0,6 м/с, а площадь всех отверстий в стенках труб – в пределах 30...40% площади сечения распределительного канала или трубы. Отвод воды из КХО в горизонтальный отстойник следует предусматривать через затопленный водослив (над стенкой, отделяющей камеру от отстойника). При этом скорость движения воды на водосливе принимают равной 0,05 м/с, в отверстиях затопленных желобов для сбора осветленной воды 1 м/с, в желобах 0,6...0,8 м/с.

Применение встроенных КХО со слоем взвешенного осадка позволяет принимать расчетную скорость осаждения взвеси в отстойнике на 20% больше при обработке мутных вод и на 15% больше при обработке маломутных вод.

Расчет КХО производят после определения основных размеров горизонтальных отстойников.

Задание 2.8. Рассчитать камеру хлопьеобразования по данным, представленным в задании 1.1 (вариант 3). Производительность 60000 м³/сут.

Расчет встроенных в каждый коридор отстойника КХО производим после расчета горизонтального отстойника, принимая основные размеры из расчета горизонтального отстойника.

Высоту слоя воды h_k в КХО принимают равной высоте слоя воды в отстойнике с учетом потерь напора (0,1 м);

$$h_k = 3,7 + 0,1 = 3,8 \text{ м.}$$

Время пребывания воды в КХО, ч

$$t = \frac{h_k}{3,6 \cdot V_k} = \frac{3,8}{3,6 \cdot 1,6} = 0,66 \text{ ч,}$$

где V_k – восходящая скорость движения воды, определяемая по ([2, п. 6.56], для КХО со слоем взвешенного осадка; (КХО вихревого типа следует рассчитывать по тем же формулам как вихревой смеситель с учетом времени пребывания воды).

Объем КХО равен

$$W = (Q_{o.c.} / 24) \times t = (60000 / 24) \times 0,66 = 1650 \text{ м}^3.$$

Длина КХО будет равна

$$L = W / (h_k \times B_{кор} \times N_{кор}) = 1650 / 3,8 \times 6 \times 6 = 12,1 \text{ м}.$$

2.5. Расчет горизонтальных отстойников. Расчет системы распределенного сбора осветленной воды. Расчет системы гидравлического удаления осадка из отстойника. Расчет отстойников с тонкослойными модулями

Отстойники применяют для выделения из осветляемой воды взвешенных веществ перед её поступлением на вторую ступень осветления - фильтры. Количество взвешенных веществ в воде после отстойников не должно превышать 8...12 мг/л.

Для устранения разрушения хлопьев в трубопроводах, соединяющих камеру хлопьеобразования (КХО) с горизонтальным отстойником, следует устраивать их встроенными в отстойники или примыкающими к ним непосредственно. Тип отстойника выбирают в зависимости от производительности очистной станции [2, СП табл.10].

Горизонтальные отстойники рекомендуется применять при производительности станции более 30000 м³/сут, содержании взвешенных веществ до 1500 мг/л и цветности до 120 град.

При горизонтальных отстойниках устраивают КХО: перегородчатого типа, вихревые или встроенные со слоем взвешенного осадка. Перегородчатые КХО принимают с горизонтальным или вертикальным движением воды. При проектировании горизонтальных отстойников следует применять встроенные КХО, так как они наиболее эффективны по сравнению с другими.

Расчет горизонтальных отстойников.

Площадь (суммарная) горизонтального отстойника F , м², определяют по формуле

$$F = \alpha \cdot \frac{q}{3,6 \cdot U_o}, \quad (24)$$

где α – коэффициент объемного использования отстойника, равный 1,3; q – расчетный расход воды, м³/ч; U_o – скорость выпадения взвеси, задерживаемой отстойником (гидравлическая крупность), мм/с.

Скорость выпадения взвеси следует принимать по данным [2, СП табл. 11].
Если при коагулировании воды применяют флокулянты, значение U_0 увеличивается на 15 - 20%.

Длину отстойника, м, определяют по формуле

$$L = H_{\text{ср}} \frac{v_{\text{ср}}}{U_0}, \quad (25)$$

где $H_{\text{ср}}$ – средняя глубина зоны осаждения взвеси (принимается в пределах 3,0...3,5 м в зависимости от высотной схемы станции); $v_{\text{ср}}$ – средняя горизонтальная скорость движения воды в отстойнике, мм/с.

Ширину горизонтального отстойника, м, определяют по формуле

$$B_{\text{отст}} = \frac{F}{L}. \quad (26)$$

При значительной расчетной ширине горизонтальный отстойник должен быть разделен на самостоятельно работающие секции или блоки, количество которых принимается не менее 2. При количестве секций менее 6 для обеспечения их ремонта и чистки следует предусматривать одну резервную. При определении конструктивных размеров отстойников следует использовать существующие типовые решения.

Секция, при необходимости, может быть разделена на коридоры продольными перегородками. Ширину одного коридора $B_{\text{кор}}$ принимают не более 6 м. При небольшой производительности станции понятия «секция» и «коридор» могут совпадать. Каждый коридор может работать самостоятельно.

При этом число коридоров

$$N_{\text{к}} = B_{\text{отс}} / B_{\text{кор}}. \quad (27)$$

Удаление из отстойника осадка рекомендуется производить гидравлическим способом без выключения его из работы. В этом случае объем зоны накопления и уплотнения осадка для всего сооружения $W_{\text{з.н.}}$, м³, определяют по формуле

$$W_{\text{з.н.}} = \frac{24 \cdot q \cdot (C_{\text{ср}} - m) \cdot T}{\bar{b}}, \quad (28)$$

где m – количество взвеси в воде на выходе из отстойника, принимаемое 8...12 мг/л; T – продолжительность работы отстойника между чистками, сут, (принимаемая по [2, СП табл.12]); \bar{b} – средняя концентрация уплотненного осадка, г/м³, $\bar{b} = f(C_{\text{ср}}, T)$, по [2, СП табл.12]; например, при концентрации твердой фазы 60000 г/м³ R_m равно 6%; $C_{\text{ср}}$ – средняя концентрация взвеси в

осветляемой воде с учетом взвеси, образующейся при введении реагентов, мг/л, определяется по формуле

$$C_{\text{cp}} = M + k \cdot D_{\text{к}} + 0,25 \cdot Ц + В, \quad (29)$$

где M – количество взвешенных веществ в исходной воде (мутность), мг/л; k – переводной коэффициент ($k = 1$ – неочищенный сернокислый алюминий; $k = 0,55$ – очищенный); $D_{\text{к}}$ – доза коагулянта по безводному продукту, мг/л; $Ц$ – цветность исходной воды, град; $В$ – количество нерастворимых в воде взвешенных веществ, вносимых вместе с известью, мг/л.

После выхода из отстойника содержание взвеси в воде составляет m мг/л, следовательно, процент задержания взвеси отстойником P , %, составит

$$P = \frac{(C_{\text{cp}} - m)}{C_{\text{cp}}} \cdot 100. \quad (30)$$

Количество осадка $P_{\text{ос}}$, т, который нужно удалить из коридора отстойника за одну чистку (по весу), составит:

$$P_{\text{ос}} = \frac{q \cdot T \cdot (C_{\text{cp}} - m)}{N_{\text{кор}} \cdot 1000 \cdot 1000}, \quad (31)$$

Расход воды Q_0 , м³/ч, сбрасываемой с осадком по дырчатым трубам, уложенным в каждом коридоре отстойника на расстоянии не более 3 м друг от друга, составит

$$Q_0 = \frac{K_p \cdot W_{\text{з.н.}}}{N_k \cdot T_c}, \quad (32)$$

где K_p – коэффициент разбавления (принимаемый равным 1,5 для гидравлического удаления осадка без выключения отстойника); T_c – продолжительность удаления осадка, равная 0,33-0,5 ч.

Дно горизонтального отстойника с гидравлическим удалением осадка проектируют с уклоном $i = 0,005$ по ходу движения осадка.

Для увеличения производительности горизонтальных отстойников следует применять поверхностный отбор воды в виде желобов или дырчатых труб [2, п. 9.60].

Задание 2.9. Рассчитать горизонтальный отстойник по данным примера (табл.1, вариант 3): производительность – 60000 м³/сут (2500 м³/ч), мутность 450 мг/л, цветность 50 град, щёлочность – 0,96 мг-экв/л. Дозы коагулянта и извести рассчитаны в примере 2.

Площадь отстойника в плане определяем с использованием соотношений (24) - (32).

$$F = \frac{\alpha \cdot q}{3,6 \cdot U_0} = 1,3 \cdot \frac{2500}{3,6 \cdot 0,5} = 1805,6 \text{ м}^2.$$

Длину отстойника находим по формуле (30), а ширину – по формуле (26).

$$L = (3 \times 9) / 0,5 = 54 \text{ м}, \text{ а } B = 1805,6 / 54 = 33,44 \text{ м}.$$

Принимаем отстойник с двумя секциями шириной

$$B_c = B / 2 = 33,44 / 2 = 16,72 \text{ м}.$$

Каждую секцию делим на коридоры с шириной $B_{\text{кор}} = 6 \text{ м}$. Число коридоров по формуле (27)

$$N_{\text{кор}} = 33,44 / 6 = 5,57 \approx 6 \text{ шт},$$

а ширина блока отстойника – 36 м.

Дозу извести рассчитываем по формуле (3):

$$D_{\text{и}} = 28 \cdot (0,0175 \cdot 45 - 0,96 + 1) = 23,2 \text{ мг/л}$$

$$B = 0,6 \cdot D_{\text{и}} = 13,9 \text{ мг/л};$$

Среднюю концентрацию взвеси в воде после добавления реагентов определяем по формуле (29) при $D_{\text{к}} = 45 \text{ мг/л}$.

$$C_{\text{ср}} = 450 + 0,55 \cdot 45 + 0,25 \cdot 50 + 13,9 = 501,2 \text{ мг/л}.$$

Объем зоны накопления осадка определяем по формуле (28) при $T = 1 \text{ сут}$.

$$W_{\text{з.н.}} = \frac{24 \cdot 2500 \cdot (501,2 - 8) \cdot 1}{60000} = 493,2 \text{ м}^3.$$

Высота зоны накопления осадка

$$H_{\text{з.н.}} = W_{\text{з.н.}} / F = 493,2 / 1805,6 = 0,27 \text{ м}.$$

Эта высота недостаточна для прокладки желобов для удаления осадка. Поэтому, исходя из конструктивных соображений, принимаем $H_{\text{з.н.}} = 0,7 \text{ м}$. При этом время между чистками увеличится в $0,7 / 0,27 = 2,59$ раза, т.е. $T = 2,59 \text{ сут}$.

Фактический объем зоны накопления (для всего отстойника)

$$W_{\text{з.н.}} = 1805,6 \times 0,7 = 1263,9 \text{ м}^3.$$

Процент воды, расходуемой при удалении осадка

$$P = \frac{K_p \cdot W_{\text{з.н.}}}{24 \cdot q \cdot T} \cdot 100\% = \frac{1,5 \cdot 1263,9}{24 \cdot 2500 \cdot 2,59} \cdot 100\% = 1,22 \%,$$

Расход воды, сбрасываемой с осадком по дырчатым трубам или коробам, уложенным по дну коридора, с учетом коэффициента разбавления по формуле (32) равен:

$$Q_o = \frac{1,5 \cdot 1263,9}{6 \cdot 0,5} = 631,95 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Общая высота горизонтального отстойника

$$H_{\text{го}} = H_{\text{ср}} + H_{\text{з.н.}} = 3 + 0,7 = 3,7 \text{ м}.$$

Расчет высоты перегородки между отстойником и КХО, а также размеры желобов для удаления из отстойника осветленной воды и осадка следует проводить по рекомендациям, приведенным в настоящих методических указаниях и в [2; 7].

2.6. Расчет скорых фильтров с водяной и водо-воздушной промывкой. Гидравлический расчет дренажных систем различного типа. Песковое хозяйство. Расчет водонапорной башни для промывки скорых фильтров

Фильтрация воды при ее осветлении и обесцвечивании для хозяйственно-питьевого водоснабжения является завершающим этапом обработки воды.

Вода, поступающая на фильтры после отстойников или осветлителей со взвешенным осадком, не должна содержать более 12 мг/л взвешенных веществ, а после фильтрования мутность воды, предназначенной для хозяйственно-питьевых нужд, не должна превышать 1,5 мг/л.

В настоящее время применяют медленные фильтры – для осветления воды без применения химических реагентов – коагулянтов; скорые фильтры – при обработке воды коагулянтами.

Число фильтров в составе фильтровальной станции должно приниматься не менее 4.

Скорые фильтры

По направлению движения воды в процессе фильтрования скорые фильтры бывают: с фильтрацией воды сверху вниз (однопоточные); с фильтрацией одновременно снизу вверх и сверху вниз (двухпоточные – АКХ).

Скорые фильтры с нисходящим движением воды бывают с однослойной, двухслойной и грубозернистой (для частичного осветления воды) загрузками. Рекомендуемые характеристики фильтрующих слоев скорых фильтров и расчетные скорости фильтрования приведены в [2, СП табл.15].

Скорые фильтры бывают безнапорные (с открытым зеркалом воды) и напорные – при производительности станции до 5000 м³/сут, цветности воды до 50 град и содержании взвешенных веществ в воде источника до 20 мг/л.

При отключении на ремонт одного (при количестве фильтров на станции до 20) или двух фильтров (при большем их количестве) скорые фильтры работают в форсированном режиме.

Расчетную площадь фильтров F , м², определяют по формуле

$$F = \frac{Q_{o.c.}}{T \cdot V_{p.n.} - 3,6 \cdot n \cdot \omega_n \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{p.n.}}, \quad (33)$$

где T – продолжительность работы станции в течение суток, ч; $V_{p.n.}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме м/ч, принимаемая по [2, СП табл.15]; n – число промывок каждого фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации, принимаемое 2 - 3 [2]; ω_n – интенсивность промывки фильтра, л/(с·м²), принимаемая по [2, СП табл.16]; t_1 – продолжительность промывки, $t_1 = 0,1$ ч; t_2 – время простоя в связи с промывкой; $t_2 = 0,33$ ч для однопоточных и $t_2 = 0,5$ ч – для двухпоточных фильтров.

Количество фильтров на станции определяем по формуле

$$N = \frac{1}{2} \sqrt{F}, \quad (34)$$

где F – площадь всех фильтров, м².

При определении размеров скорых фильтров следует использовать типовые решения.

Расчетную скорость фильтрования $V_{p.ф.}$, м/ч, при форсированном режиме определяем по формуле

$$V_{p.ф.} = V_{p.n.} \frac{N}{N - N_1}, \quad (35)$$

где $V_{p.n.}$ – расчетная скорость фильтров, м/ч, принимаемая по [2]; N_1 – число фильтров, находящихся в ремонте.

Если расчетная скорость при форсированном режиме, определенная по формуле, получится больше допустимой, необходимо соответственно

уменьшить принятое значение расчетной скорости фильтрования при нормальном режиме.

Состав загрузки фильтров принимаем по [2 СП табл. 15].

Высота слоя воды над поверхностью загрузки в открытых фильтрах должна быть не менее 2 м. При этом следует учитывать, что при включении фильтра на промывку на остальных фильтрах уровень воды может увеличиться на 20%.

При работе скорых фильтров с постоянной скоростью фильтрования нужно предусматривать дополнительную высоту для приема воды при включении фильтров на промывку (формула (36)):

$$H_{\text{доп}} = \frac{W}{\sum F}, \quad (36)$$

где W – объём воды, накапливающейся за время промывки одного фильтра, м^3 , определяется по формуле $W = \frac{Q_{\text{о.с.}}}{Nt_2}$, $\sum F$ – суммарная площадь сооружений (фильтров, отстойников, осветлителей), в которых происходит накопление воды, м^2 .

Дренажные (распределительные) системы применяют с поддерживающими слоями и безгравийные: пористый бетон, щелевые трубы, колпачки.

Расстояние между осями дренажных труб принимают 250...350 мм.

Диаметр коллектора распределительной системы определяют из расчета скорости движения воды в начале коллектора 1,0...1,2 м/с.

Потери напора в дренажной системе скорых фильтров из перфорированных труб h , м, определяют по формуле

$$h = \zeta \frac{V_{\text{к}}}{2g} + \frac{V_{\text{б.о.}}^2}{2g}, \quad (37)$$

где ζ – коэффициент сопротивления ($\zeta = \frac{2,2}{\omega_{\text{уд}}^2} + 1$ – для труб с отверстиями под

углом 45° к оси; $\zeta = \frac{2,2}{\omega_{\text{уд}}^2} + 1$ – для труб с отверстиями под углом 90° к оси); $\omega_{\text{уд}}$ –

отношение суммы площадей отверстий к площади поперечного сечения коллектора, $\omega_{\text{уд}} = \frac{f_{\text{отв}}}{f_{\text{кол.}}}$; $V_{\text{к}}$ – скорость в начале коллектора, м/с; $V_{\text{б.о.}}$ – скорость

в начале бокового ответвления, м/с.

Потерю напора h , м, в распределительных системах с промежуточным дном и щелевыми колпачками определяют по формуле

$$h = \frac{V_{щ}}{2g\mu}, \quad (38)$$

где $V_{щ}$ – скорость воды на выходе из щелей, принимаемая равной 1,5...2 м/с; μ – коэффициент расхода, равный 0,5.

Скорость движения воды в отверстиях принимают 1,8...2 м/с. В дренаже двухпоточных фильтров скорость движения воды не должна превышать 1 м/с.

Для сбора и отвода промывной воды в промканализацию предусматривают желоба полукруглого или пятиугольного сечения. Расстояние между осями соседних желобов принимают не более 2,2 м. Ширину желоба определяют по формуле

$$B = k\sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1,57 + \alpha)^3}}, \quad (39)$$

где k – коэффициент, принимаемый равным для желобов с полукруглым лотком $k = 2$, для пятиугольных желобов $k = 2,1$; α – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимаемое в пределах 1...1,5.

Высоту кромки желоба $h_{кр}$, м, над поверхностью фильтрующей загрузки вычисляют по формуле

$$h_{кр} = \frac{H \cdot e}{100} + 0,3, \quad (40)$$

где H – высота фильтрующего слоя, м; e – относительное расширение фильтрующей загрузки при промывке, %, принимаемое по [2, СП табл. 16].

Промывная вода по желобам поступает в сборный канал. При площади фильтра до 40 м² устраивают боковой сборный канал, располагаемый между фильтрами или по фронту при числе более 2; при площади фильтра более 40 м² – центральный. В этом случае фильтр состоит из двух отделений.

Расстояние от дна желоба до дна сборного канала H_k , м, для исключения подпора воды в нем определяется по формуле

$$H_k = 1,73 \sqrt[3]{\frac{q_k^2}{g \cdot A^2}} + 0,2, \quad (41)$$

где q_k – расход воды в канале, м³/с; A – ширина канала (минимум 0,7 м); $g = 9,81$ м/с².

Промывку фильтров осуществляют насосами из бака либо из водонапорной башни. При использовании промывных насосов забор воды осуществляют из резервуаров чистой воды или из отводящего трубопровода фильтрованной воды.

При использовании для промывки бака его вместимость рассчитывают на две промывки для одного фильтра и три – при одновременной промывке двух фильтров.

Задание 2.10. Рассчитать фильтры по данным (табл.1, вариант 4).

Фильтры приняты скорые однослойные с песчаной загрузкой. Определяем суммарную площадь фильтров и их количество по формулам (33) и (34) при скорости фильтрования 6 м/ч и двух промывках в сутки. (Для двухступенчатых схем с горизонтальными отстойниками и осветлителями со взвешенным осадком следует проводить аналогичный расчет).

$$F = \frac{24000}{24 \cdot 6 - 3,6 \cdot 2 \cdot 12,5 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 6} = 183,15 \text{ м}^2.$$

$$N = \frac{1}{2} \sqrt{183,15} = 6,77 \text{ шт.}$$

Принимаем 7 фильтров с площадью $183,15 : 7 = 26,16 \text{ м}^2$.

Принимаем фильтры с боковым сборным каналом и размерами в плане 4,5 × 6 м, площадью 27 м² и скоростью фильтрования $V_{p.n.} = \frac{1000}{27 \cdot 7} = 5,29 \text{ мч}$; по формуле (59) $V_{p.ф.} = 5,29 \frac{7}{7-1} = 6,17 \text{ мч}$, что отвечает требованиям [2, табл. 21].

Состав загрузки фильтра

Высоту фильтрующего слоя песка принимаем 800 мм с крупностью частиц 0,5...1,2 мм. Эквивалентный диаметр зерен 0,7...0,8 мм, а коэффициент неоднородности $k_n = 1,8...2$.

Поддерживающие слои гравия имеют общую высоту 500 мм.

Расчет распределительной системы фильтра

Расход промывной воды, необходимой для промывки одного фильтра,

$$q_{пр} = F \cdot \omega_n = 27 \cdot 12,5 = 337,5 \text{ л/с.}$$

Диаметр коллектора распределительной системы определяем по скорости входа промывной воды $d_{кол} = 600 \text{ мм}$, $V = 1,19 \text{ м/с}$, $f_{кол} = 2826 \text{ см}^2$, наружный диаметр 640 мм. Коллектор размещаем вдоль длинной стороны фильтра под сборным каналом. Конструкция фильтра приведена в графической части проекта на листе 2. Площадь, занимаемая сборным каналом, не входит в площадь фильтрования. Ширина канала зависит от диаметра коллектора, но должна быть не менее 0,7 м.

Площадь дна фильтра, приходящаяся на каждое ответвление распределительной системы при расстояниях между ними $m = 0,30 \text{ м}$

$$f_{\text{отв}} = 4,5 \cdot 0,3 = 1,35 \text{ м}^2.$$

Расход промывной воды, поступающей через одно ответвление,

$$q_{\text{отв}} = f_{\text{отв}} \cdot \omega = 1,35 \cdot 12,5 = 16,88 \text{ л/с}.$$

Диаметр труб ответвлений $d_{\text{отв}} = 125$ мм (ГОСТ 3262 – 75*), тогда скорость выхода воды в ответвление будет 1,28 м/с (что не превышает рекомендуемую скорость 1,8 м/с).

В нижней части ответвлений под углом 45° к вертикали предусматриваем отверстия $d = 10 \dots 12$ мм. Отношение площади $\sum f_o$ всех отверстий в ответвлениях распределительной системы к площади фильтра принимаем равным 0,25%.

При площади одного фильтра $F = 27 \text{ м}^2$ суммарная площадь отверстий

$$\sum f_{\text{отв}} = \frac{0,25 \cdot 27}{100} = 0,0675 \text{ м}^2 \text{ или } 675 \text{ см}^2.$$

При диаметре отверстий $d = 12$ мм площадь отверстий $f_{\text{отв}} = 1,13 \text{ см}^2$.

Общее количество отверстий в распределительной системе каждого фильтра

$$\frac{\sum f_{\text{отв}}}{f_o} = \frac{675}{1,13} = 597 \text{ шт.}$$

Общее количество ответвлений на каждом фильтре при расстоянии между осями ответвлений 0,30 м

$$n_{\text{общ}} = \frac{6,0}{0,30} = 20.$$

Количество отверстий, приходящихся на каждое ответвление

$$n_{\text{отв}} = \frac{597}{20} = 30 \text{ шт.}$$

При длине каждого ответвления $l_{\text{отв}} = 4,5$ м, шаг между осями отверстий ответвлений

$$l_o = \frac{l_{\text{отв}}}{20} = \frac{4,5}{20} = 0,225 \text{ м}.$$

Отверстия располагаем снизу трубы в два ряда в шахматном порядке под углом 45° к вертикальной оси трубы.

Расчет устройств для сбора и отвода воды при промывке

Сбор воды при промывке фильтров осуществляем с помощью желобов, которые заканчиваются в сборном канале. Желоба располагаем над загрузкой. Принимаем три желоба, расстояние между ними должно быть не более 2,2 м. При симметричном размещении по длинной стороне фильтра расстояние между осями желобов составит $\frac{6}{3} = 2$ м, а расстояние между стенками и осями крайних желобов равно 1,0 м.

Расход промывной воды, приходящейся на один желоб

$$q_k = \frac{337,5}{3} \approx 112,5 \text{ л/с} = 0,1125 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем $\alpha = 1,5$ – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины; $k = 2,1$ – для желобов с треугольным основанием. Тогда для желоба пятиугольного сечения ширина по формуле (39):

$$B = 2,1 \sqrt[5]{\frac{0,1125^2}{(1,57 + 1,5)^3}} = 0,44 \text{ м}.$$

Высота прямоугольной части желоба:

$$h_{\text{пр}} = 0,75 \cdot B = 0,75 \cdot 0,44 = 0,33 \text{ м}.$$

Полезная высота желоба:

$$h = 1,25 \cdot B = 1,25 \cdot 0,44 = 0,55 \text{ м},$$

а конструктивная, с учетом толщины стенки,

$$h_k = 0,55 + 0,08 = 0,63 \text{ м}.$$

Площадь сечения желоба, $\omega = 0,194 \text{ м}^2$.

Усредненная скорость движения воды в желобе

$$V = \frac{q}{\omega} = 0,58 \text{ м/с}.$$

Высота кромки желоба над поверхностью фильтрующей загрузки при $H_{\text{слоя}} = 0,8$ м и $e = 45\%$ по формуле (40):

$$h_{кр} = \frac{0,8 \cdot 45}{100} + 0,3 \approx 0,66 \text{ м.}$$

Принимаем $h_{кр} = 0,7$ м, с тем, чтобы расстояние от низа желоба до верха загрузки фильтра было 0,07 м.

Процент воды P , %, идущей на промывку фильтров (от общей суточной производительности)

$$P = \frac{3,6 \cdot q_{пр} \cdot t_1 \cdot N \cdot n}{Q_{o.c.}} \cdot 100, \quad (42)$$

где N – число фильтров на станции; n – число промывок каждого фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации.

$$P = \frac{3,6 \cdot 337,5 \cdot 0,1 \cdot 7 \cdot 2}{24000} \cdot 100 = 7,09\%.$$

Сборный канал отводит загрязненную воду из желобов на сооружения обработки промывной воды. Расстояние от дна желоба до дна сборного канала определяем по формуле (41)

$$H_{кан} = 1,733 \sqrt{\frac{0,3375^2}{9,81 \cdot 0,7^2}} + 0,2 = 0,66 \text{ м.} = 0,7 \text{ м.}$$

Скорость движения воды в канале при площади поперечного сечения $f_{кан} = 0,7 \times 0,7 = 0,49 \text{ м}^2$ составит

$$V_{кан} = \frac{q_{кан}}{f_{кан}} = \frac{0,3375}{0,49} \approx 0,7 \text{ мс.}$$

Потери напора при промывке фильтра, м:

а) в отверстиях труб распределительной системы определяем по формуле (37):

$$\omega_{уд} = \frac{675 \text{ см}^2}{2826 \text{ см}^2} = 0,24; \quad \zeta = \frac{2,2}{0,24^2} + 1 = 39,56;$$

$$h = 39,56 \frac{1,19^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,28^2}{2 \cdot 9,81} = 2,94 \text{ м};$$

б) фильтрующем слое высотой $H_{слоя} = 800$ мм определяем по формуле А.И. Егорова

$$h_{\phi} = (a + b \cdot \omega) \cdot H_{\phi}; \quad (43)$$

$a = 0,76$; $b = 0,017$ – для крупности зерен песка $0,5 \dots 1,2$ мм;

$$h_{\phi} = (0,76 + 0,017 \cdot 12,5) \cdot 0,800 \approx 0,78 \text{ м};$$

в) гравийных слоях $H_{г.с.} = 0,5$ м определяем по формуле В.Т. Турчиновича

$$h_{г.с.} = 0,022 \cdot H_{г.с.} \cdot \omega; \quad (44)$$

$$h_{г.с.} = 0,022 \cdot 0,5 \cdot 12,5 \approx 0,14 \text{ м};$$

г) трубопроводе, подводящем промывную воду к общему коллектору распределительной системы при $q = 337,5$ л/с, $d = 600$ мм и $V = 1,19$ м/с, $1000i = 4,48$ м, при общей длине трубопровода ≈ 100 м

$$h_{п.т.} = i \cdot L = 0,00448 \cdot 100 \approx 0,448 \text{ м} \approx 0,45 \text{ м}.$$

д) на местные сопротивления в фасонных частях и арматуре ($\zeta = 0,984$ – для отвода; $\zeta = 0,26$ – для задвижки; $\zeta = 0,5$ – для входа во всасывающую трубу и $\zeta = 0,92$ – для тройника) по формуле (37):

$$h_{м.с.} = (2 \cdot 0,984 + 0,26 + 0,5 + 0,92) \frac{1,19^2}{2 \cdot 9,81} = 0,26 \text{ м}.$$

Полные потери напора при промывке фильтра

$$\sum h = 2,94 + 0,78 + 0,14 + 0,45 + 0,26 = 4,57 \approx 4,6 \text{ м}.$$

Геометрическая высота подъема воды $h_{г.}$ от дна резервуара чистой воды до верхней кромки желобов над фильтром будет

$$h_{г.} = 0,7 + 1,3 + 4,5 = 6,5 \text{ м},$$

где $h_{кр} = 0,7$ м – высота кромки желоба над поверхностью фильтра; $1,3$ м – высота загрузки фильтра, включая дренаж; $4,5$ м – глубина воды в РЧВ.

Промывку фильтров осуществляем из бака водонапорной башни, расположенного выше уровня воды в фильтрах. Емкость бака башни промывной воды, рассчитанную на две промывки, определяем по формуле

$$V_{пр} = 2(F \cdot \omega_{пр} \cdot t_1) / 1000 = 2(27 \cdot 12,5 \cdot 360) / 1000 = 243 \text{ м}^3.$$

Напор насоса, подающего воду в водонапорную башню, равен

$$H = h_{\Gamma} + \sum h + h_{\text{з.н.}} = 6,5 + 4,6 + 1,5 = 12,6 \text{ м,}$$

где $h_{\text{з.н.}} = 1,5 \text{ м}$ – запас напора.

Примечание: Напор насоса определен без учета высоты бака башни промывной воды.

2.7. Расчет контактных осветлителей типа КО-1 и КО-3. Гидравлический расчет трубчатых распределительных систем для подачи воды и воздуха.

Контактные осветлители (КО) применяют при содержании взвешенных веществ до 70 мг/л, цветности воды до 70 град и при любой производительности станции.

Контактные осветлители, промывка которых производится только водой, обычно выполняют без поддерживающих слоев (КО-1), при промывке водой и воздухом – с поддерживающими слоями (КО-3).

Площадь контактных осветлителей определяют по формуле (45) для КО-1 и по формуле (46) для КО-3.

$$F_{к.о.} = \frac{Q_{о.с.}}{T \cdot V_{р.н.} - n \cdot (3,6 \cdot \omega_n \cdot t_1 + V_{рн} \cdot t_1 + t_2 \cdot V_{р.н.} / 60)}, \quad (45)$$

$$F_{к.о.} = \frac{Q_{о.с.}}{T \cdot V_{р.н.} - (3,6 \cdot n \cdot (\omega_{вв} \cdot t_3 + \omega_v \cdot t_4) + n \cdot (V_{рн} \cdot t_1 + t_2 \cdot V_{р.н.} / 60))}, \quad (46)$$

где $Q_{о.с.}$ – расчетная полезная производительность станции, м³/сут; T – продолжительность работы станции в течение суток, ч; $V_{р.н.}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч, принимаемая по [2, п. 9.101]; n – число промывок каждого осветлителя в сутки при нормальном режиме эксплуатации, принимаемое равным 2 – 3 [2]; ω_n – интенсивность промывки, принимаемая равной 15...18 л/(с·м²), [2, п. 9.104]; t_1 – продолжительность промывки, ч, принимаемая по [2, п. 9.104]; t_2 – продолжительность сброса первого фильтрата, мин, принимаемая по [2, п. 9.104]; $\omega_{вв}$ – интенсивность промывки водой, принимаемая равной 3...3,5 л/(с·м²) по [2, п. 9.104] при водовоздушной промывке; ω_v – интенсивность промывки, принимаемая равной 6 – 7 л/(с·м²) по [2, п. 9.104], при подаче только воды при водовоздушной промывке; t_3 и t_4 – время промывки водой и воздухом и только водой соответственно, принимаемое по [2, п. 9.104].

Характеристики загрузки принимают по табл. 17 [2]. Так, КО-3 заполняется снизу вверх следующими слоями гравия и песка:

- 40 - 20 мм – толщина слоя 0,2-0,25 м;
- 20 - 10 мм – толщина слоя 0,1-0,15 м;
- 10 - 5 мм – толщина слоя 0,15-0,2 м;
- 5 - 2 мм – толщина слоя 0,3-0,4 м;
- 2 - 1,2 мм – толщина слоя 1,2-1,3 м;
- 1,2 - 0,7 мм – толщина слоя 0,8-1,0 м.

Верхняя граница гравия с крупностью 40-20 мм должна быть на уровне верха труб распределительной системы.

Общая высота загрузки должна быть не более 3 м [2].

Задание 2.11. Рассчитать контактные осветлители по данным задания 1 (вар. 2).

Исходные данные: $Q_{\text{сут}} = 200000 \text{ м}^3/\text{сут}$; $t = 24 \text{ ч}$; $V_{\text{р.н.}} = 5 \text{ м/ч}$ (при $n < 6$), интенсивность промывки $\omega_n = 16 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; $n = 3$; $t_1 = 6 \text{ мин}$ (0,1 ч); $t_2 = 10 \text{ мин}$. К расчету приняты контактные осветлители КО-1, промывка предусмотрена профильтрованной водой. (При необходимости снижения расхода воды на промывку следует использовать КО-3 с водовоздушной промывкой).

Принимаем следующие характеристики загрузки:

гравий 40 - 20 мм – толщина слоя 0,2 м;

гравий 20 - 10 мм – толщина слоя 0,15 м;

гравий 10 - 5 мм – толщина слоя 0,15 м;

песок 5 - 2 мм – толщина слоя 0,3 м;

песок 2 - 1,2 мм – толщина слоя 1,2 м;

песок 1,2 - 0,7 мм – толщина слоя 0,9 м.

Высота гравийных слоев – 0,5 м, высота песка – 2,4 м, общая высота загрузки – 2,9 м.

Определение площади КО

Площадь КО определяем по формуле

$$F_{\text{к.о.}} = \frac{200000}{24 \cdot 5 - 2 \cdot (3,6 \cdot 16 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 10 \cdot 5 / 60)} = 1890,0 \text{ м}^2.$$

$$N = \frac{1}{2} \sqrt{1890,0} = 22 \text{ шт.}$$

Площадь одного осветлителя равна $1890,0 / 22 = 85,9 \text{ м}^2$.

Принимаем 22 осветлителя с полезной площадью фильтрования 88 м^2 (два отделения с размерами 4 x 11 м) с центральным сборным каналом. Площадь, занимаемая каналом, не входит в полезную площадь осветлителя.

Проверяем скорость восходящего потока при форсированном режиме (при одновременной промывке двух контактных осветлителей) по формуле (35):

$$V_{\text{р.ф.}} = V_{\text{р.н.}} \frac{N}{N - N_1} = 5 \cdot \frac{22}{22 - 2} = 5,5 \text{ м/ч.}$$

Таким образом, скорость при форсированном режиме не превышает допустимую скорость фильтрования воды, равную 6,0 м/ч.

Расчет трубчатой распределительной системы КО

Расход промывной воды, необходимой для промывки одного КО:

$$q_{\text{пр}} = F \cdot \omega_n = 88 \cdot 16,0 = 1408,0 \text{ л/с.}$$

Диаметр коллектора распределительной системы определяем по скорости входа промывной воды $V = 1,24 \text{ м/с}$, $d_{\text{кол}} = 1200 \text{ мм}$, $f_{\text{кол}} = 11342 \text{ см}^2$, внутренний диаметр 1202 мм, наружный диаметр 1220 мм, толщина стенки 9 мм. Коллектор размещаем вдоль длинной стороны контактного осветлителя под сборным каналом. Ширину сборного канала принимаем равной 1400 мм. С учетом ширины канала размеры КО будут равны $(8 + 1,4) \times 11 \text{ м}$.

Площадь дна КО, приходящаяся на каждое ответвление распределительной системы при расстояниях между ними $m = 0,30 \text{ м}$

$$f_{\text{отв}} = 4,0 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ м}^2.$$

Расход промывной воды, поступающей через одно ответвление,

$$q_{\text{отв}} = f_{\text{отв}} \cdot \omega = 1,2 \cdot 16,0 = 19,2 \text{ л/с.}$$

Диаметр труб ответвлений $d_{\text{отв}} = 125 \text{ мм}$ (ГОСТ 3262 – 75*), тогда скорость выхода воды в ответвление будет 1,47 м/с (что не превышает рекомендуемую скорость 1,8 м/с).

В нижней части ответвлений под углом 45° к вертикали предусматриваем отверстия $d = 10 \dots 12 \text{ мм}$. Отношение площади $\sum f_o$ всех отверстий в ответвлениях распределительной системы к площади КО принимаем равным 0,25%.

При площади одного КО, равной 88 м^2 , суммарная площадь отверстий $\sum f_{\text{от}} = \frac{0,25 \cdot 88}{100} = 0,22 \text{ м}^2$ или 2200 см^2 .

При диаметре отверстий $d = 12 \text{ мм}$ площадь отверстия $f_o = 1,13 \text{ см}^2$.

Общее количество отверстий в распределительной системе каждого осветлителя:

$$\frac{\sum f_{\text{от}}}{f_o} = \frac{2200}{1,13} = 1946 \text{ шт.}$$

Общее количество ответвлений в двух отделениях КО при расстоянии между осями ответвлений 0,30 м

$$n_{\text{общ}} = \frac{2 \cdot 11,0}{0,3} = 73,3 = 74.$$

Количество отверстий, приходящихся на каждое ответвление

$$n_{\text{отв}} = \frac{1946}{74} = 26 \text{ шт.}$$

При длине каждого ответвления $l_{\text{отв}} = 4,0$ м, шаг между осями отверстий ответвлений:

$$l_o = \frac{l_{\text{отв}}}{20} = \frac{4,0}{26} = 0,154 \text{ м.}$$

Расчет сборных желобов КО производим аналогично расчетам сборных желобов скорого фильтра.

Промывная вода от 2 отделений КО через сборные желоба изливается в центральный сборный канал, откуда отводится в сток. Сечение сборного канала принимается прямоугольное, а ширина принята равной 1,4 м (по условиям эксплуатации принимается не менее 0,7 м). Принимаем размеры сборного канала 1,4 x 1,5 м.

Скорость движения воды в конце сборного канала при размерах его поперечного сечения:

$$f_{\text{кан}} = 1,4 \cdot 1,5 = 2,1 \text{ м}^2,$$

$$V_K = 1,4 / 2,1 = 0,67 \text{ м/с,}$$

т. е. не больше допустимой скорости при форсированном режиме – 0,8 м/с.

Определение строительной высоты КО

Строительная высота КО определяется по формуле:

$$H_{\text{ко}} = H_{\text{тр}} + H_3 + H_{\text{в}} + H_{\text{стр}},$$

где: $H_{\text{тр}}$ – суммарная высота поддерживающих слоев гравия;

$H_3 = 2,4$ м – высота слоя фильтрующего материала;

$H_{\text{в}}$ – высота слоя воды над поверхностью загрузки, принимаемая не менее 0,3 м;

$H_{\text{ко}}$ – превышение строительной высоты, не менее 0,5 м;

$$H_{\text{ко}} = 0,5 + 2,4 + 0,3 + 0,6 = 3,8 \text{ м}$$

Расчет трубопроводов подачи и отвода воды

Диаметры трубопроводов определяются по таблицам Шевелева для гидравлического расчета стальных труб по заданному расходу и рекомендуемой скорости движения воды. Размеры трубопроводов и каналов, следует принимать из условия форсированного режима работы (т.е. при выключении одного КО на промывку). Расход воды на все КО равен $200000 / (24 \cdot 3,6) = 2315$ л/с. Расчетный расход воды, приходящейся на один КО равен $2315 / (22 - 1) = 110$ л/с.

1. Для подачи исходной воды на все КО при $Q = 2315$ л/с и рекомендуемой скорости 1,0-1,5 м/с по таблицам Шевелева принимаем диаметр $D_y = 1500$ мм; $V = 1,31$ м/с, $1000i = 1,09$.

2. Для подачи исходной воды на один КО при форсированном режиме $Q = 110$ л/с (рекомендуемая скорость $V = 1,0-1,5$ м/с) принимаем диаметр $D_y = 300$ мм, $V = 1,45$ м/с; $1000i = 10,2$;

3. Для отвода фильтрата со всех КО; $Q = 2315$ л/с (рекомендуемая скорость $V = 1,0-1,5$ м/с) подбираем диаметр $D_y = 1500$ мм; $V = 1,31$ м/с, $1000i = 1,09$;

4. Для подачи промывной воды в распределительную систему и отвода промывной воды по сбросному каналу при $Q = 1408$ л/с и скорости не более 2,0 м/с, подбираем трубопровод, $d = 1200$ мм и $V = 1,23$ м/с, $1000i = 1,28$.

Задание 2.12. Рассчитать трубчатую распределительную системы для подачи воздуха.

Исходные данные: размеры КО-3 – два отделения по 3,8x5,8 м; площадь одного отделения 22,04 м².

Расход воздуха, приходящейся на один КО-3 (одновременно промываются два отделения), рассчитывается по формуле:

$$q_{пр} = 20 \cdot f_{ко} = 20 \cdot 22,04 = 881,6 \text{ л/с} = 0,882 \text{ м}^3/\text{с} = 52,92 \text{ м}^3/\text{мин},$$

где 20 л/(с·м²) – интенсивность подачи воздуха ([2], п. 9.104).

Для распределения воздуха принимаем 36 трубы длиной 3,8 м. Расстояние между трубами принимается 0,15 м.

Диаметры коллектора и распределительных труб рассчитываются соответственно на скорости движения воздуха 10 м/с и 13 м/с.

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{0,882 \cdot 4}{10 \cdot \pi}} = 0,34 \text{ м}$$

Принимаем $d_{кол} = 350$ мм.

$$d_{расп} = \sqrt{\frac{0,882 \cdot 4}{36 \cdot 13 \cdot \pi}} = 0,049 \text{ м}$$

Принимаем $d_{расп} = 50$ мм.

Диаметр магистрального трубопровода принимаем 400 мм.

Для подачи воздуха принимаем воздуходувки марки ВК-60/1,0 производительностью 60 м³/мин (1 рабочая и 1 резервная).

2.8. Расчет сооружений по обеззараживанию воды. Определение доз хлора и расчет хлораторной

Наиболее распространенный метод обеззараживания воды - хлорирование.

Для обработки воды рассчитывают расход хлора G_{xi} , кг/сут, как для предварительного (первичного), так и для вторичного хлорирования по формуле

$$G_{xi} = \frac{Q_{o.c.} \cdot D_{xл}}{1000}, \quad (47)$$

где $Q_{o.c.}$ – расход обрабатываемой воды, м³/сут; $D_{xл}$ – доза хлора, мг/л.

$$G_x = G_{x1} + G_{x2}.$$

По часовому расходу хлора $\frac{G_x}{24}$ определяют тип хлоратора.

Хлор поступает на станцию обработки воды в баллонах или в бочках в жидком виде. Съем хлора (количество испарившегося хлора) с одного баллона принимают $S_{xл} = 0,5 \dots 0,7$ кг/ч, а с одной бочки $S_{xл.б} = 3$ кг/ч с 1 м² боковой поверхности. Необходимое количество соответственно баллонов или бочек для хлора определяют по формулам

$$n_{бал} = \frac{G_x}{24 \cdot S_{xл}}, \quad (48)$$

$$n_{боч} = \frac{G_x}{24 \cdot S_{xл.б} \cdot F}; \quad (49)$$

где F – площадь боковой поверхности бочки, равная 3,65 м² при размерах бочки: $D = 0,746$ м и $L = 1,6$ м.

При проектировании хлораторной предусматривают запасной выход из помещения непосредственно наружу, а при входе в хлораторную – тамбур, в котором располагают шкаф для спецодежды, противогазы и устройство для включения вентиляции и освещения. Вентиляцию рассчитывают на 12-тикратный воздухообмен с забором воздуха в нижней части.

В хлораторной предусматривают резерв хлораторов: один резервный – при числе рабочих хлораторов до двух; два резервных - при большем числе рабочих хлораторов.

При суточном расходе жидкого хлора более трех баллонов рядом с хлораторной предусматривают помещение, сообщающееся с хлораторной, в котором хранится трехсуточный запас баллонов.

Задание 2.11. Рассчитать хлораторную для схемы обработки воды, выбранной ранее (табл. 1, вариант 3).

Хлорирование воды принимаем жидким хлором в два этапа. Расчетный часовой расход хлора для предварительного (первичного) хлорирования воды ($D'_{\text{хл}} = 5 \text{ мг/л}$)

$$G_{\text{хл}} = \frac{Q_{\text{о.с.}} \cdot D'_{\text{хл}}}{1000 \cdot 24} = \frac{60000 \cdot 5}{1000 \cdot 24} = 12,5 \text{ кг/ч};$$

для вторичного хлорирования воды ($D''_{\text{хл}} = 1 \text{ мг/л}$)

$$G_{\text{хл}} = \frac{Q D''_{\text{хл}}}{1000 \cdot 24} = \frac{60000 \cdot 1}{1000 \cdot 24} = 2,5 \text{ кг/ч};$$

Общий расход хлора 15 кг/ч, или 360 кг/сут. В хлораторной устанавливаем пять хлораторов ЛОНИИ-100: два – для первичного хлорирования, один – для вторичного хлорирования и 2 резервных.

Обеззараживание воды гипохлоритом натрия

Жидкий хлор, используемый для обеззараживания воды, обладает высокой токсичностью. С тем, чтобы уменьшить влияние хлора на обслуживающий персонал, в настоящее время начали перевод водопроводных станций на гипохлорит натрия.

Гипохлорит натрия (ГХН) поставляется на станцию в виде водного раствора с концентрацией по активному хлору до 190 г/л автомобильным транспортом. Поставку осуществляют в автомобильных цистернах.

Из автомобильной цистерны реагент перекачивают в одну из двух приемных емкостей. В процессе перекачки реагента из транспортной емкости осуществляется контроль его концентрации. Из приемных емкостей ГХН другими насосами перекачивают в расходные емкости. В ходе этой перекачки ГХН разбавляют водой до рабочей концентрации 80...100 г/л по активному хлору. Это разбавление необходимо для уменьшения интенсивности разложения ГХН в процессе его хранения. Запас гипохлорита натрия с рабочей концентрацией 80...100 г/л рассчитывают на срок не более 7 суток.

Из расходных емкостей ГХН поступает в общий коллектор, к которому присоединяют насосы-дозаторы как первичного, так и вторичного хлорирования. Для каждой точки ввода реагента используют свой дозировочный насос, при этом на каждые два рабочих насоса предусматривают по одному резервному насосу.

Технологическая схема ввода в обрабатываемую воду раствора гипохлорита натрия практически остается такой же, как и при подаче хлорной воды.

Задание 2.12. *Необходимо рассчитать, сколько потребуется 8%-ного рабочего раствора гипохлорита натрия при требуемой концентрации хлора 5*

мг/л для первичного хлорирования и 1 мг/л для вторичного хлорирования (см. пример 3).

Доза активного хлора в пересчете из 100%-ного в 8%-ный раствор гипохлорита натрия составит

$$D_{п(8\%)} = (D(100\%) \times 100\%) / \eta = (5 \text{ мг/л} \times 100\%) / 8\% = 62,5 \text{ мг/л.}$$

$$D_{в(8\%)} = (D(100\%) \times 100\%) / \eta = (1 \text{ мг/л} \times 100\%) / 8\% = 12,5 \text{ мг/л.}$$

Расчетный часовой расход ГХН

$$G_n = \frac{Q_{o.c.} \cdot D'_{хл}}{1000 \cdot 24} = \frac{60000 \cdot 62,5}{1000 \cdot 24} = 156,25 \text{ кг/ч;}$$

$$G_{в} = \frac{Q_{o.c.} \cdot D'_{хл}}{1000 \cdot 24} = \frac{60000 \cdot 12,5}{1000 \cdot 24} = 31,25 \text{ кг/ч;}$$

Общий расход гипохлорита 187,5 кг/ч, или 4500 кг/сут. Вычисляем объем товарного раствора гипохлорита с учетом его плотности

$$V_{гхн} = G_{общ} / 1130 \text{ кг/м}^3 = 4500 / 1130 = 3,982 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

Следует учитывать, что объем расходной емкости для раствора гипохлорита натрия с концентрацией 8 % не должен превышать семидневный запас реагента, так как гипохлорит натрия нестойк и его концентрация снижается со временем. В данном примере принимаем 2 расходных бака объемом по 25 м³, что позволит готовить раствор примерно один раз в семь суток.

РАЗДЕЛ 3. ОБРАБОТКА ВОДЫ. ДЕЗОДОРАЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОДЫ. ОБРАБОТКА ПРОМЫВНЫХ ВОД И ОСАДКОВ СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ.

3.1. Расчет озонаторной установки

Озонирование воды основано на применении озона, который легко разлагается с образованием атомарного кислорода, являющегося одним из наиболее сильных окислителей. Он уничтожает бактерии, споры, вирусы и обесцвечивает и дезодорирует воду, окисляя органические загрязнения.

Озон не изменяет природные свойства воды, т.к. его избыток быстро разлагается, превращаясь в кислород.

Озон получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых озонаторами. Предварительно осушенный, очищенный и охлажденный воздух поступает в озонатор, в котором происходит разряд коронного типа, в результате которого образуется озон. Доза озона принимается при введении его в фильтрованную воду с целью обеззараживания ~1-3 мг/л; а для подземной воды, не требующей очистки, ~0,75-1 мг/л.

При необходимости обесцвечивания и дезодорации воды доза озона может доходить до 4 мг/л. Время контакта воды с озоном 6-12 мин.

Свойства озона. Озон обладает свойством быстро разлагаться в воздухе и особенно в воде. Растворимость озона в воде находится под заметным влиянием величины рН и количества веществ, растворенных в воде; небольшое содержание кислот и нейтральных солей усиливает растворимость озона, а наличие щелочей снижает ее.

В реакциях с неорганическими веществами озон ведет себя как сильный окислитель. Реакции озона с органическими веществами обнаруживают его интенсивное действие на бензольные кольца, характерные для воды, загрязненной фенолами.

Кроме того, озон адсорбирует и окисляет гуминовые кислоты, вызывающие цветность (т. е. желтоватую окраску) воды и прекращает активность энзимов — сложных органических веществ белковой природы, содержащихся в живых и растительных организмах.

Озон может применяться для обеззараживания воды от бактерий, но вода предварительно должна быть осветлена. Озон обладает способностью уничтожать споры и вирусы, в частности вирус полиомиелита, а также многие другие патогенные микробы.

Хорошо устраняются при озонировании запахи и привкусы воды. Сюда относятся запахи, выделяемые некоторыми водорослями, органическими субстанциями и микроорганизмами.

Особенно эффективен озон при очистке воды, загрязненной фенолами, сероводородом, сернистыми и цианистыми соединениями и другими веществами, которые придают воде дурной запах.

Для получения равного эффекта нужно в 2,5 раза меньше озона, чем хлора. Озон действует в 15—30 раз быстрее хлора. После обработки хлором вода имеет зеленовато-желтую окраску. Озонирование придает воде отчетливый голубой оттенок.

Озон, используемый для озонирования, получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых озонаторами, в результате воздействия на него «тихого» (т. е. рассеянного без искр) электрического заряда, сопровождающегося выделением озона. Общая схема установки по озонированию показана на рис. 14.8. Озонаторный генератор представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат (вариант) с вмонтированными в него из нержавеющей стали трубками по типу теплообменника. Внутри каждой стальной трубы помещена стеклянная трубка с небольшой (2... 3 мм) кольцевой воздушной прослойкой, являющейся разрядным пространством.

Внутренняя поверхность стеклянных трубок покрыта графитомедным (или алюминиевым) покрытием. Стальные трубы являются одним из электродов, а покрытия на внутренних стенках стеклянных трубок — другим. К стальным трубам подводят электрический переменный ток напряжением 8 ... 10 кВ, а покрытия на стеклянных трубках заземляют. При прохождении электрического тока через разрядное пространство происходит разряд коронного типа, в результате которого образуется озон. Предварительно осушенный и очищенный воздух проходит через кольцевое пространство и таким образом озонируется, т. е. образуется озоновоздушная смесь. Стеклянные трубки являются диэлектрическим барьером, благодаря чему разряд получается «тихим», т. е. рассеянным, без образования искр. При этом до 90% электроэнергии превращается в теплоту, которую отводит от озонатора циркулирующая в межтрубном пространстве аппарата охлаждающая вода.

Подача в озонаторы кислорода увеличивает выход озона в 2... 2,5 раза по сравнению с подачей воздуха, но требует строительства установок для получения кислорода. Воздух, используемый в озонаторах, должен быть предварительно освобожден от влаги и пыли. Даже следы влаги, попадая в разрядное пространство аппарата, вызывают появление искрового разряда, который значительно снижает показатели работы озонатора — уменьшается выход озона и примерно в 4 раза возрастает расход электроэнергии (по сравнению с подачей сухого воздуха). Кроме того, присутствие следов влаги делает озон весьма агрессивным к деталям озонатора, трубам и арматуре. Для извлечения пыли воздух пропускают через матерчатые фильтры специальных конструкций, а для удаления влаги устанавливают адсорберы, загружаемые обычно силикагелем.

Озон (озоновоздушная смесь) вводят в воду либо через эжекторы (эмульгаторы), либо через сеть пористых труб или распределительных каналов, укладываемых по дну контактного резервуара. Распределительные каналы перекрывают фильтросными пластинами.

Доза озона зависит от назначения озонирования воды. Если озон вводят только для обеззараживания в фильтрованную воду (после ее предварительного коагулирования), то дозу озона принимают 1...3 мг/л, для подземной воды — 0,75...1 мг/л, при введении озона для обесцвечивания и обеззараживания воды доза озона может достигать до 4 мг/л. Продолжительность контакта обеззараживаемой воды с озоном принимается 5...12 мин.

Озон очень сильный окислитель, его окислительный потенциал 2,6 В. Патогенные микроорганизмы уничтожаются им в 15-20 раз, а споровые формы бактерий — в 300-600 раз быстрее, чем хлором. Механизм обеззараживания воды озоном основан на его способности *инактивировать* сложные органические вещества белковой природы, содержащиеся в животных и растительных организмах.

Чистый озон взрывоопасен, он не взрывается, если его концентрация в озono-воздушной смеси не превышает 10%, т. е. 140 г/м³. Озон токсичен и

может поражать органы дыхания. ПДК озона в воздухе помещений, где находятся люди, не более 0,0001 мг/л.

Для обеззараживания воды доза озона изменяется в соответствии с ее температурой и рН, а также содержанием в ней органических веществ.

В ряде случаев озонирование является универсальным методом водообработки, так как кроме обеззараживания воды дезодорируется и разлагаются органические вещества, обуславливающие цветность воды, улучшается процесс коагулирования примесей. Концентрация остаточного озона после выхода воды из контактной камеры должна быть 0,1—0,3 мг/л. Передозировка озона не опасна, так как через короткое время он превращается в кислород.

Принципиальная технологическая схема установки для озонирования воды представлена на рис. 3.1.

Атмосферный воздух пропускается через фильтр 1 для очистки от пыли, после чего воздушным компрессором 2 нагнетается на охлаждающие устройства 3, откуда поступает в устройства для осушки воздуха 4. Охладителем служит вода, подаваемая в змеевик 5. Охлажденный и осушенный воздух направляется в генераторы озона 6 (озонаторы). Под действием тихого электрического разряда получается озон, но не в чистом виде, а в смеси с воздухом. Концентрация озона в этой озono-воздушной смеси колеблется для озонаторов различных типов в пределах от 2 до 12 г/м³ (или от 0,15 до 0,93% по весу).

Так как тихий электрический разряд сопровождается тепловыделением, предусматривается охлаждение электродов озонатора водой, поступающей по трубопроводу 7. Напряжение подается на озонатор от повышающего трансформатора 8 по высоковольтному кабелю.

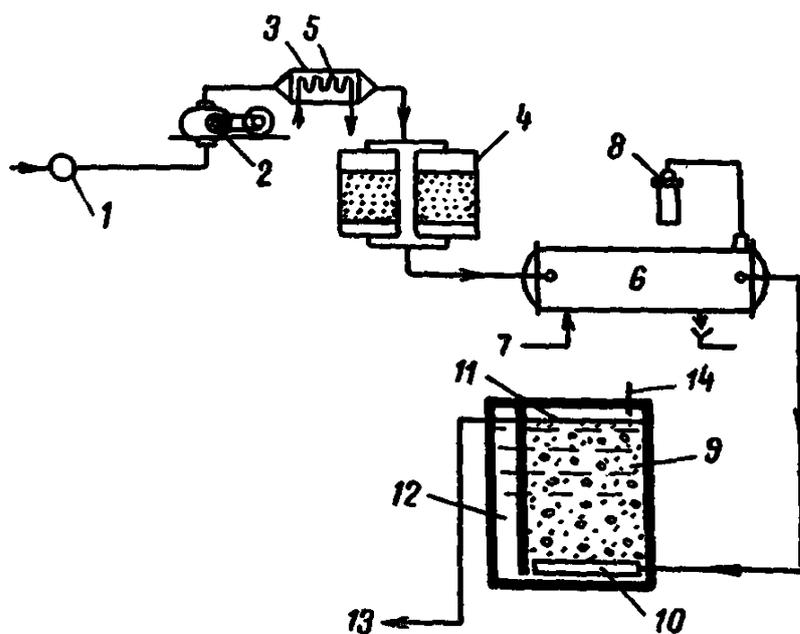


Рис. 3.1. Принципиальная технологическая схема установки для озонирования воды

В заключительном этапе технологического процесса происходит быстрое и полное смешение воды с озонированным воздухом в специальной контактной колонне 9. Диффузия озона в виде мельчайших пузырьков в толще воды осуществляется через сеть пористых трубок 10, размещенных в основании контактной колонны. Вода уходит самотеком по трубе 11. Следовательно, вода и озонированный воздух циркулируют во встречных направлениях, что ускоряет процесс растворения озона. Вода выпускается через отверстия в стенке бокового кармана 12, примыкающего к корпусу колонны. Озонированная вода поднимается по этому карману, после чего направляется в резервуар чистой воды по трубопроводу 13. Благодаря рациональным условиям контакта воды с озоном воздух, выходящий в вытяжную трубу 14, содержит только следы озона и может быть выведен наружу, без всякой опасности для населения окружающих районов.

Озон относится к отравляющим веществам раздражающего действия. Присутствие озона легко узнается по свойственному ему острому запаху. Для безопасности обслуживающего персонала содержание озона в помещении должно быть не более $0,0001 \text{ мг/л}$. При концентрации озона в воздухе $0,001 \text{ мг/л}$ может быть допущено только кратковременное пребывание человека в помещении. Доза озона $0,018 \text{ мг/л}$ вызывает удушье. Поэтому при устройстве, озонирующей установки важно обеспечить сокращение пути движения смеси озона с воздухом от генератора к контактной колонне и газонепроницаемость трубопроводов, подводящих озон.

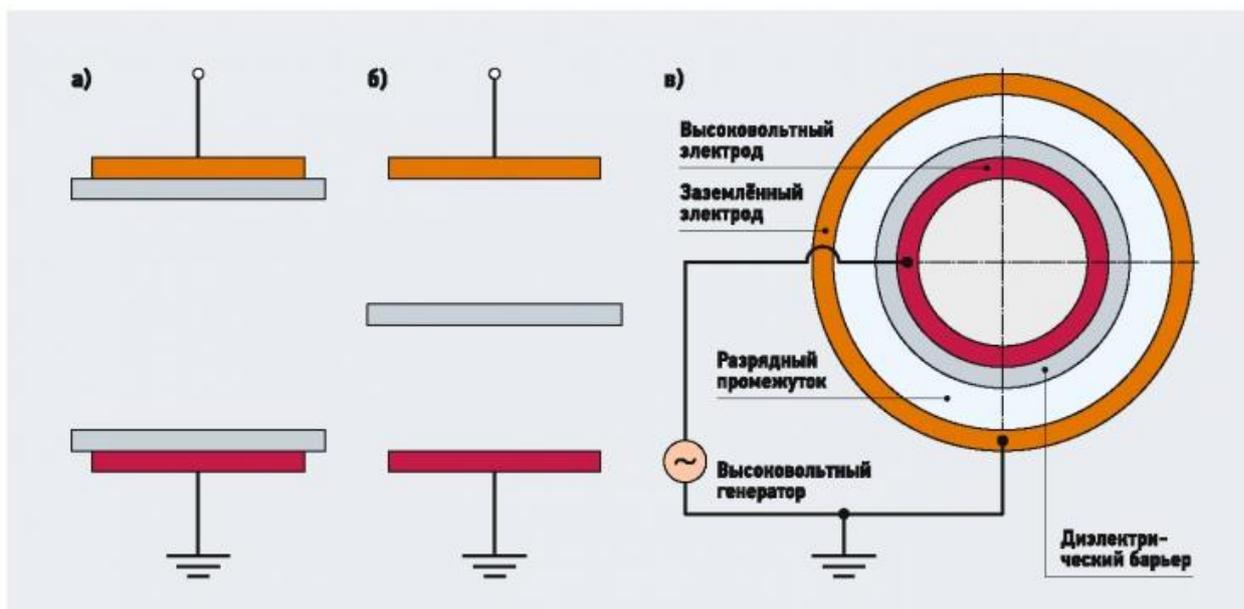


Рис.3.2. Конфигурация электродных систем

а – пластинчатая с двумя диэлектриками; б – пластинчатая с одним диэлектриком; в – трубчатая с диэлектриком, соосным электродами

По форме электроды и диэлектрики озонаторов с барьерным разрядом изготавливаются трубчатыми и пластинчатыми. Наибольшее практическое

применение получили озонаторы с трубчатыми электродами. Электрод низкого напряжения представляет собой цилиндр из нержавеющей стали, в котором с зазором установлен полый цилиндрический стеклянный диэлектрик, покрытый с внутренней стороны тонким слоем металла. Электрод высокого напряжения размещается соосно по центру стеклянного диэлектрика, а корпус установки заземляется. Поток сухого воздуха (или кислорода) поступает в пространство между цилиндрическим электродом и стеклянным диэлектриком. При наложении переменного тока высокой частоты в межэлектродном пространстве генерируется электрический заряд в низкотемпературной плазме, молекулы кислорода бомбардируются электронами, и в результате образуется озон.

Типовой расчёт озонатора барьерного типа

Активная мощность электрического разряда трубчатого озонатора, необходимая для выработки требуемого количества озона, определяется по следующей формуле Ю. В. Филиппова [11]:

$$U = \frac{2}{\pi} u_p \omega [C_s (u_a - u_p) - C_p u_p], \text{ Вт} \quad (50)$$

где u_p — напряжение в разрядном промежутке, В; ω — круговая частота электрического тока, Гц; C_s и C_p — электрическая ёмкость электродов и разрядного промежутка, соответственно, мкФ; u_a — рабочее напряжение, подводимое к озонатору, В.

Для типового озонатора барьерного типа при заданных рабочих условиях величины C_s , C_p и u_p имеют постоянные значения независимо от напряжения и частоты электрического тока. Поэтому расход электроэнергии пропорционален частоте тока и максимальному напряжению тока, которое принимается по опытным данным. Производительность озонатора увеличивается с повышением частоты электрического тока, но также возрастает расход электроэнергии трансформатором. Значения C_s и C_p определяются по формулам расчёта плоского конденсатора, их величины сравнительно невелики и выражаются в микрофарадах.

Необходимо различать активную мощность озонатора U [кВт] и вольт-амперную мощность U_a (мощность трансформатора), измеряемую в [кВА]. Соотношение $U/U_a = \eta_e$ обозначается ёмкостным коэффициентом мощности. При значении $\eta_e = 0,52$ мощность трансформатора будет равна $U_a = U/\eta_e$.

Величина потенциала электрического разряда через разрядный промежуток в трубках озонатора составляет в среднем $u_{cp} = 2000$ В на каждый линейный миллиметр. Поскольку в озонаторе заданного трубчатого типа ширина разрядного промежутка составляет $l_p = 2,5$ мм, то электрический потенциал разряда:

$$u_p = u_{cp} \square I_p. \quad (51)$$

Площадь поперечного сечения кольцевого разрядного промежутка рассчитывается по формуле [2]:

$$F_p = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2), \quad (52)$$

где d_1 — внутренний диаметр стальных трубок ($d_1 = 90-92$ мм); d_2 — наружный диаметр стеклянных диэлектрических трубок ($d_2 = 55-87$ мм). Расход сухого воздуха через одну трубку озонатора:

$$q_6 = F_p v_6 3600, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (53)$$

где v_6 — скорость прохода сухого воздуха через кольцевой разрядный промежуток, м/с. Скорость прохода сухого воздуха через кольцевой разрядный промежуток в целях наибольшей экономии расхода электроэнергии принимается в пределах $v_6 = 0,15-0,2$ м/с.

Количество сухого воздуха, необходимого для электросинтеза озона:

$$Q_6 = G_{o_3} / K_{o_3}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (54)$$

где G_{o_3} — заданная производительность озонатора, кг/ч; K_{o_3} — коэффициент весовой концентрации озона в воздухе, г/м³. Максимальный расчётный расход озона:

$$Q_{o_3} = (Q_{сут} a_{o_3, \max} / 1000), \text{ кг} / \text{ч}, \quad (55)$$

где $Q_{сут}$ — суточная доза озона; доз.шах — максимальная доза озона, г/м³.

Чтобы выработать максимально расчётное количество озона установку оборудуют двумя или более озонаторами, количество которых определяется по следующей формуле:

$$\eta_{o_3} = Q_{o_3} / G_{o_3}. \quad (56)$$

При расчёте озонатора необходимо учитывать, что 85-90 % электроэнергии, потребляемой для электросинтеза, идёт на тепловыделение. Поэтому необходимо обеспечить охлаждение электродов озонатора.

Кроме этого, устанавливают один резервный озонатор такой же производительности G_{o_3} . Количество стеклянных диэлектрических трубок в озонаторе рассчитывается по формуле:

$$n_{mp} = Q_6 / q_6, \text{ шт.} \quad (57)$$

Стеклянные трубки размещаются концентрично в стальных трубках, проходящих через весь цилиндрический корпус озонатора с обоих его концов. Обычно длина корпуса озонатора принимается равной 3,0-3,3 м. Производительность каждой трубки по озону определяется по формуле:

$$q_{o_3} = G_{o_3} / n_{mp}, \text{ г/ч.} \quad (58)$$

Отсюда энергетический выход озона:

$$\mathcal{E}_{o_3} = G_{o_3} / U, \text{ кг/кВт} \cdot \text{ч} \quad (59)$$

Суммарная площадь поперечного сечения вычисляется как:

$$\sum f_{mp} = n_{mp} f_{mp} d_1, \text{ м}^2 \quad (60)$$

Площадь поперечного сечения цилиндрического корпуса озонатора с учётом допусков должна быть больше расчётной площади на 35 %:

$$F_k = 1,35 \sum f_{mp}, \text{ м}^2 \quad (61)$$

Отсюда внутренний диаметр корпуса озонатора определяется по формуле:

$$D = 2 \sqrt{\frac{F_k}{\pi}} \quad (62)$$

При расчёте озонатора необходимо учитывать, что 85-90 % электроэнергии, потребляемой для электросинтеза озона, затрачивается на тепловыделение. Поэтому необходимо обеспечить охлаждение электродов озонатора. В среднем, расход охлаждающей воды для охлаждения электродов составляет $Q_6 = 35$ л/ч на одну трубку или суммарно:

$$Q_{охл} = Q_6 n_{mp}, \text{ л/ч.} \quad (63)$$

Средняя скорость охлаждающей воды вычисляется по формуле:

$$v_{охл} = Q_{охл} / F_k - \sum f_{mp}, \text{ мм/с.} \quad (64)$$

Температура охлаждающей воды принимается равной $t = 10$ °С. Для электросинтеза озона необходимо подавать рассчитанное по формуле (54) количество сухого воздуха Q_6 на один озонатор заданной производительности G_{o_3} .

Кроме этого, необходимо учитывать расход воздуха на регенерацию адсорберов $Q_{рег}$, составляющий 360 м³/ч для серийно выпускаемой установки озонирования воды АГ-50.

Общий расход охлаждаемого воздуха:

$$V_{ог} = 2Q_{в} + Q_{рег}, \text{ м}^3 / \text{мин}. \quad (65)$$

Для подачи охлаждаемого воздуха используются стандартные водокольцевые воздуходувки производительностью $q_{вд} = 10$ м³/мин. Тогда количество воздуходувок рассчитывается по формуле:

$$n_{вд} = V_{ог} / q_{вд}. \quad (66)$$

На практике к рассчитанному по формуле (63) количеству воздуходувок, как правило, устанавливают одну резервную с электродвигателем А-82-6 и мощностью 40 кВт. На всасывающем трубопроводе каждой воздудувки устанавливается висциновый фильтр-пылеуловитель, рассчитанный на пропуск газа высокого давления, производительностью до 50 м³/мин. (по расчётным условиям).

3.2. Определение схемы обработки и повторного использования промывных вод скорых фильтров. Расчет сооружений по обработке и повторному использованию промывных вод скорых фильтров

В случае, когда очистку воды производят в две ступени (отстаиванием и фильтрованием), промывную воду от фильтров направляют в сооружения для повторного использования, откуда осветленную воду подают в начало очистных сооружений. Если очистку воды осуществляют только фильтрованием, промывную воду направляют в дополнительный отстойник (время отстаивания 1 ч, доза полиакриламида 0,8 - 0,16 мг/л), а затем – в начало очистных сооружений. Осадок во всех случаях обезвоживают.

Основными компонентами осадка, задерживаемого загрузкой скорых фильтров и контактных осветлителей, являются загрязнения, содержащиеся в исходной воде или в воде, прошедшей предварительную очистку в отстойниках или осветлителях со слоем взвешенного осадка, а также продукты гидролиза коагулянта, используемого для очистки воды. Следовательно, масса осадка, образующегося на станции в течение суток равна произведению суточной производительности станции на концентрацию взвеси в исходной воде, определяемой по формуле (29) для контактных осветлителей или на концентрацию взвешенных частиц после предварительной очистки для скорых фильтров, т.е. 8...12 мг/л. Для определения средней концентрации твердой фазы в промывной воде делят полученную массу (г/сут) на суточный объем промывной воды, который рассчитывают в каждом конкретном случае.

При отсутствии предварительного хлорирования на очистной станции промывную воду обеззараживают.

3.3. Компонировка основных сооружений в здании. Компонировка сооружений на генплане станции водоподготовки

При проектировании водоочистных станций все технологические сооружения и вспомогательные помещения располагают в одном здании. Это значительно уменьшает строительную стоимость станции и упрощает ее эксплуатацию.

Взаимное расположение отдельных сооружений станции должно обеспечивать минимальную протяженность трубопроводов между ними, дорог и пешеходных дорожек.

Следует предусматривать расширение станции по мере увеличения водопотребления. При этом должны быть оставлены свободные от наземной застройки и подземных коммуникаций площадки для сооружений второй очереди.

Для обеспечения бесперебойности водоснабжения на водоочистной станции предусматривают систему обводных водоводов, обеспечивающих возможность подачи воды, минуя основные технологические сооружения, а также отключение отдельных сооружений станции.

Компировка технологических и вспомогательных сооружений в виде отдельных зданий допускается только для станций большой производительности (более 100000 м³/сут) при наличии технико-экономических обоснований. Расстояние между соседними сооружениями в таком случае должно быть минимальным, но с условием сохранения удобства строительства, эксплуатации и производства ремонтных работ.

На территории станции (в санитарной зоне строгого режима) размещают все вспомогательные помещения, предусмотренные [2], а также насосные станции 1-го и 2-го подъемов, резервуары, понизительные трансформаторные подстанции, котельную, мастерские, склады, проходную. Не допускается располагать здесь помещения, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации (например, гараж, помещение охраны и т.п.).

Из экономических соображений понизительную трансформаторную станцию следует располагать в центре энергонагрузки (обычно возле насосных станций), а котельную – в центре тепловой нагрузки (обычно возле фильтров, с подветренной стороны).

Площади складских водоочистных сооружений рассчитывают. Для коагулянтов предусматривают «мокрое» хранение, расчет которого представлен ранее, для извести – «сухое».

Расчет склада для песка или для другого фильтрующего материала производят из условия ежегодного пополнения фильтрующего материала в количестве 10% от его общего объема.

Состав площади вспомогательных помещений для станции водообработки назначают в зависимости от ее производительности по [2].

РАЗДЕЛ 4. ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

4.1. Расчет установки обезжелезивания воды упрощенной и глубокой аэрацией

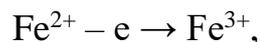
Железо присутствует в воде в виде сложных органических и минеральных соединений, растворов двухвалентного железа, карбонатов и бикарбонатов железа, коллоидных и тонкодисперсных взвесей гидроксидов и сульфитов железа и др. Обезжелезивание воды производится при содержании в ней железа более 0,3 мг/л. Повышенное содержание соединений железа в природной воде в концентрациях, превышающих нормативные, делает ее непригодной для питья и использования в технологических процессах отдельных производств текстильной, химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

Из используемых безреагентных методов обезжелезивания воды перспективными являются: вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование; упрощенная аэрация и фильтрование; «сухая» фильтрация; фильтрование на каркасных фильтрах; фильтрование в подземных условиях с предварительной подачей в пласт окисленной воды или воздуха; аэрация и двухступенчатое фильтрование.

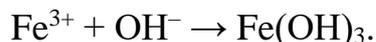
Безреагентные методы обезжелезивания могут быть применены, при следующих показателях качества исходной воды: рН – не менее 6,6; щёлочность – не менее 1,5 мг-экв/л. При соблюдении этих условий при содержании железа (III) не более 10 % общего и концентрации железа (II) в бикарбонатной или карбонатной форме до 3 мг/л рекомендуется метод фильтрования на каркасных фильтрах без вспомогательных фильтрующих средств; до 5 мг/л – предпочтительно применять метод «сухой» фильтрации; от 5 до 10 мг/л следует использовать метод упрощенной аэрации с одноступенчатым фильтрованием; от 10-20 мг/л – аэрация и двухступенчатое фильтрование; от 10-30 мг/л рекомендуется вакуумно-эжекционная аэрация с фильтрованием через загрузку большой грязеемкости. При содержании углекислого или карбонатного железа (II) более 20 мг/л или при наличии сероводорода 1-5 мг/л, рН не ниже 6,4 рекомендуется метод вакуумно-эжекционной аэрации с последующим отстаиванием в тонком слое воды или обработкой в слое взвешенного осадка и фильтрование.

Методы обезжелезивания определяются формами содержания железа в воде. Подземные воды с повышенным содержанием закисного железа при обезжелезивании, как правило, проходят этап аэрирования, во время которого происходит обогащение воды кислородом воздуха и частичное удаление

углекислоты. Под действием кислорода двухвалентное железо окисляется в трехвалентное:



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



Метод упрощённой аэрации основан на способности воды, содержащей железо (II) и растворённый кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зёрен, образуя каталитическую плёнку из ионов и оксидов железа (II) и (III). Эта плёнка интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. Обезжелезивание воды в загрузке, покрытой плёнкой, является гетерогенным автокаталитическим процессом, в результате чего обеспечивается непрерывное обновление плёнки как катализатора непосредственно при работе фильтра. Метод не требует окисления всего железа (II) в трёхвалентное и перевод его в гидроксид. Упрощённая аэрация осуществляется с помощью несложных приспособлений путём излива воды с небольшой высоты в карман или центральный канал фильтра, либо путём вдувания воздуха в обрабатываемую воду.

По стехиометрии на окисление 1 мг железа (II) расходуется 0,143 мг растворенного в воде кислорода; щелочность воды при этом снижается на 0,036 мг-экв/л. Скорость окисления соединений железа (II) значительно возрастает при хлорировании воды (нормальный окислительно-восстановительный потенциал хлора $E=1,36 \text{ В}$).

Расчет установки для обезжелезивания воды аэрацией

Этот метод может быть применен при щелочности воды более 2 мг-экв/л, при рН воды после аэрации выше 7, при перманганатной окисляемости воды менее 0,15 $[\text{Fe}^{2+}] + 3 \text{ мг/л } \text{O}_2$, при содержании аммонийных солей менее 1 мг/л и при содержании сероводорода менее 0,2 мг/л.

Задание 4.1. Рассчитать установку обезжелезивания воды при заданной производительности 9100 м³/сут (380 м³/ч). Содержание в исходной воде двухвалентного железа составляет 9 мг/л, карбонатной жесткости 6 мг-экв/л.

Схема установки приведена на рис. XXX. Вода направляется на вентиляторную градирню, загруженную кольцами Рашига. После пропускания через градирню вода стекает в приемный резервуар, откуда насосом подается в напорный фильтр, где заканчивается образование хлопьев гидроокиси и их задержание в слое кварцевого песка.

Для выделения свободной углекислоты принимаем аэрацию воды на вентиляторной градирне.

Необходимая площадь вентиляторной градирни

$$F_{cp} = Q_{час} / q = 380 / 60 = 6,33 м^2 ,$$

где Φ – удельный расход воды на 1 м² площади вентиляторной градирни, принимаемой при насадке из колец Рашига. Высота слоя насадки при щелочности (равной карбонатной жесткости) 6 мг-экв/л принимаем 3 м (табл. 65, [8]).

Производительность вентиляторов градирни

$$Q_{макс} = Q_{час} \cdot Q_o = 380 \cdot 10 = 3800 м^3 / ч ,$$

где Q_o – необходимая производительность вентилятора на 1 м³ обрабатываемой воды, обычно принимают равной 10 м³.

Напор, развиваемый вентилятором, должен быть

$$h_{вент} = h_{кр} \cdot 30 = 3 \cdot 30 = 90 \text{ мм вод.ст.}$$

Емкость контактного резервуара

$$W = \frac{Q_{час} \cdot t}{60} = \frac{380 \cdot 30}{60} = 190 м^3 ,$$

где $t = 30-40$ мин – время пребывания воды в контактном резервуаре.

Размер в плане контактного резервуара объемом 190 м³ при глубине слоя воды 4 м будет 6,9х6,9 м.

Для загрузки фильтров используется кварцевый песок с крупностью зерен 0,5-1,2 мм при высоте фильтрующего слоя 1200 мм.

При скорости фильтрования 6 м/ч необходимая площадь фильтров $\Sigma f = 380 : 6 = 63,3$ м². Принимаем семь рабочих фильтров и один резервный диаметром $D = 3,4$ м и площадью каждый 9,07 м².

4.2. Расчет дегазатора для удаления сероводорода из подземной воды

Привкусы и запахи вызывают неорганические и органические вещества *естественного и искусственного* происхождения. К естественным относятся органические вещества биологического происхождения, возникающие в результате отмирания и разложения высших водных растений, планктона, бентоса, бактерий, грибов. При этом в воду выделяются низкомолекулярные спирты, карбоновые кислоты, кетоны, альдегиды, фенолсодержащие вещества с сильным запахом. Органические вещества способствуют развитию микроорганизмов, выделяющих сероводород (H₂S), аммиак (NH₃),

органические сульфиды, меркаптаны. Интенсивное обогащение воды органическими веществами происходит во время «цветения» водоёмов.

Существующие методы дегазации воды подразделяют на физические и химические. Сущность физических методов дегазации заключается в следующем: вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление этого газа в воздухе близко к нулю; создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится ничтожно малой.

С помощью первого приема, т. е. аэрации воды, обычно удаляют свободную углекислоту и сероводород, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю. Ко второму приему обычно прибегают при обескислороживании воды. В этом случае ввиду значительного парциального давления кислорода в атмосферном воздухе аэрацией воды кислород удалить нельзя, поэтому воду доводят до кипения, тогда растворимость всех газов в ней падает до нуля. Для этого применяют либо нагревание воды (в термических деаэраторах), либо понижение давления до величины, при которой вода кипит без дополнительного подогрева в вакуумных дегазаторах.

Основное расчетное уравнение аппаратов для извлечения из воды растворенных газов десорбцией записывается в следующем виде:

$$A = \frac{G}{K_0 \Delta C_{cp}}$$

$$G = 0,01q(C_{ex} - C_{вых})$$

где q — производительность аппарата, м³/ч.,

Коэффициент сопротивления процессу диффузии в пленке жидкости Km возрастает с увеличением относительной скорости движения воды и воздуха в десорбере, с повышением температуры и увеличением коэффициента диффузии удаляемого газа.

Из величин, входящих в общее уравнение десорбции, G и ΔC_{cp} , могут быть подсчитаны по заданным условиям работы дегазатора, величина Km вычислена опытным путем или с помощью теории подобия. Это уравнение является основным для расчета десорбционных аппаратов. Из него находят необходимую поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз для обеспечения заданного эффекта дегазации, а, следовательно, и размер проектируемых аппаратов.

Аэрирование воды производят в специальных установках-аэраторах вакуумно-эжекционного, барботажного, разбрызгивающего и каскадного типов. Аэрация должна осуществляться до ввода окислителей во избежание их потерь. В вакуумно-эжекционном аппарате за счет большой скорости движения воды в вакуумной камере происходит резкое понижение давления, способствующее

почти полной десорбции растворенных в ней газов, а в последующих эжекционных камерах за счет подсоса воздуха извне происходит окисление кислородом некоторых ароматических веществ. В аэраторах барботажного типа распределение воздуха в воде обеспечивается перфорированными трубами, пористыми пластинами или трубами. В разбрызгивающих аэраторах (брызгальных бассейнах) аэрируемая вода распыляется соплами на мелкие капли, что способствует увеличению поверхности ее контакта с воздухом. В аэраторах каскадного типа аэрируемая вода падает струями через несколько последовательно расположенных водосливов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ № 87 от 16 февраля 2008 г. «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию». Сайт: ГАРАНТ.РУ. Режим доступа: <http://base.garant.ru/12158997/>. Дата обращения: 10.09.15.
2. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 128 с.
3. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.
4. Классификаторы технологий очистки природных вод/ М.Г. Журба, А.П. Нечаев, Г.А. Ивлева и др. – М.: ГНЦ НИИ ВОДГЕО, 2000. – 118 с.
5. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение» направления подготовки дипломированных специалистов «Строительство»: в 3-х т. Том 2. / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова ; науч.-метод. рук-во и общ. ред. М. Г. Журбы. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: АСВ, 2010.
6. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика / В.А. Клячко, С.Н. Аронов, В.Т. Лазарев и др.; под ред. И.А. Назарова. Разд. III. – М.: Стройиздат, 1977. – 287 с.
7. Орлов В.А. Водоснабжение: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 (270800) «Строительство» (профиль «Водоснабжение и водоотведение») / В.А. Орлов, Л.А. Квитка. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 435 с.
8. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты : учеб. пособие для вузов – 4-е изд., репр. – М.: БАСТЕТ, 2008. – 303 с.
9. Процессы очистки природных вод: учеб. пособие для вузов / С. В. Яковлев, И. Г. Губий, И. И. Павлинова – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2008. – 383 с.

10. Оборудование водопроводных и канализационных сооружений: учеб. для вузов / Б. А. Москвитин [и др.]. – Изд. 2-е, перераб. и доп. / [под ред. Л. Г. Дерюшева]. – М.: БАСТЕТ, 2011.

11. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения (актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*)

12. Водоснабжение. Техничко-экономические расчеты / под.ред. Г.М. Басс. – Киев: Вища шк., 1977. – 150 с.

13. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справ. пособие – 9-е изд., испр. – М.: БАСТЕТ, 2009.