

3. ОЧИСТКА И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

3.1. 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

$$G_{xi} = \frac{Q_{o.c.} \cdot D_{xл}}{1000}, \quad (3.1)$$

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. Съём 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

$$n_{бал} = \frac{G_x}{24 \cdot S_{xл}}, \quad (3.2)$$

$$n_{боч} = \frac{G_x}{24 \cdot S_{xл.б} \cdot F}; \quad (3.3)$$

где F – площадь боковой поверхности бочки, равная $3,65 \text{ м}^2$ при размерах бочки: $D = 0,746 \text{ м}$ и $L = 1,6 \text{ м}$.

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 3.1. Рассчитать хлораторную для схемы обработки воды, выбранной ранее (табл. 3.1, вариант 3).

Таблица 3.1

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

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

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

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 дозирующий 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 3.2. *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.*

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

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

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

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.

3.2. 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 достигать 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. 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.

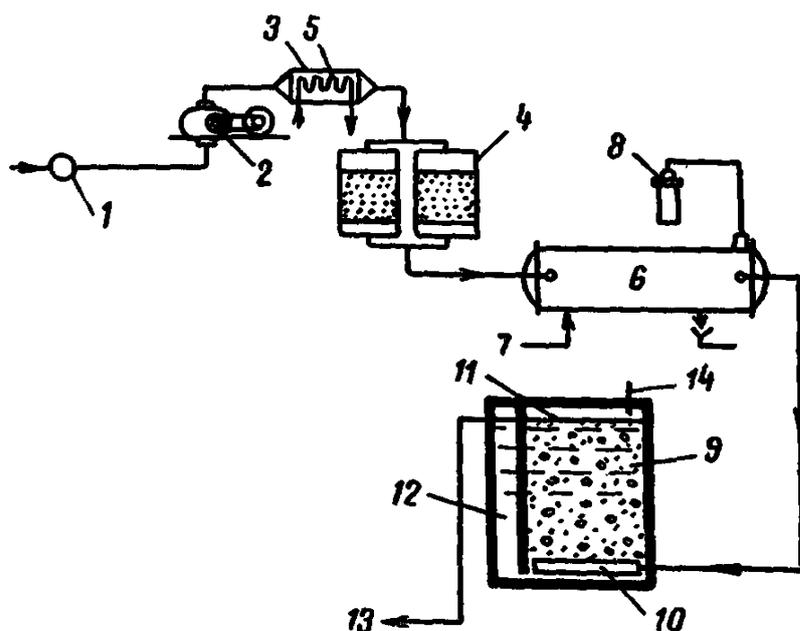


Рис. 3.1. Принципиальная технологическая схема установки для озонирования воды

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.

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 мг/л. При концентрации озона в воздухе 0,001 мг/л может быть допущено только кратковременное пребывание человека в помещении. Доза озона 0,018 мг/л вызывает удушье. Поэтому при устройстве, озонирующей установки важно обеспечить сокращение пути движения смесн

озона с воздухом от генератора к контактной колонне и газонепроницаемость трубопроводов, подводящих озон.

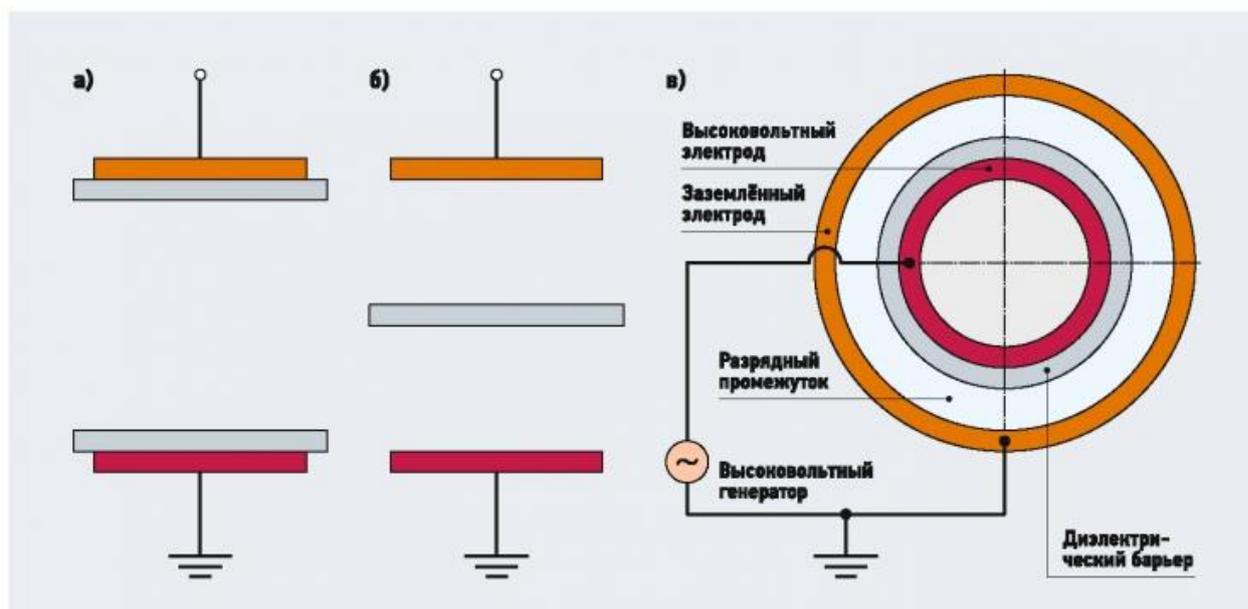


Рис.3.2. Конфигурация электродных систем

а – пластинчатая с двумя диэлектриками; б – пластинчатая с одним диэлектриком; в – трубчатая с диэлектриком, соосными 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]:

$$U = \frac{2}{\pi} u_p \omega [C_s (u_a - u_p) - C_p u_p], \text{Вт} \quad (3.4)$$

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:

$$u_p = u_{cp} \cdot l_p. \quad (3.5)$$

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

$$F_p = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2), \quad (3.6)$$

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:

$$q_s = F_p v_s 3600, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (3.7)$$

где v_s — 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 $v_s = 0,15-0,2$ м/с.

Количество сухого воздуха, необходимого для электросинтеза озона:

$$Q_s = G_{oz} / K_{oz}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (3.8)$$

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

$$Q_{o_3} = (Q_{сут} q_{o_3, \max} / 1000), \text{ кг/ч}, \quad (3.9)$$

где $Q_{сут}$ — суточная доза озона; $q_{o_3, \max}$ — максимальная доза озона, г/м³.

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

$$\eta_{o_3} = Q_{o_3} / G_{o_3}. \quad (3.10)$$

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:

$$n_{тр} = Q_{o_3} / q_{o_3}, \text{ шт.} \quad (3.11)$$

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:

$$q_{o_3} = G_{o_3} / n_{тр}, \text{ г/ч.} \quad (3.12)$$

Отсюда энергетический выход озона:

$$\mathcal{E}_{o_3} = G_{o_3} / U, \text{ кг/кВт} \cdot \text{ч} \quad (3.13)$$

Суммарная площадь поперечного сечения вычисляется как:

$$\sum f_{mp} = n_{mp} f_{mp} d_1, \text{ м}^2 \quad (3.14)$$

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

$$F_k = 1,35 \sum f_{mp}, \text{ м}^2 \quad (3.15)$$

Отсюда внутренний диаметр корпуса озонатора определяется по формуле:

$$D = 2 \sqrt{\frac{F_k}{\pi}} \quad (3.16)$$

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:

$$Q_{охл} = Q_6 n_{mp}, \text{ л/ч.} \quad (3.17)$$

Средняя скорость охлаждающей воды вычисляется по формуле:

$$v_{охл} = Q_{охл} / F_k - \sum f_{mp}, \text{ мм/с.} \quad (3.18)$$

Температура охлаждающей воды принимается равной $t = 10$ °С. Для электросинтеза озона необходимо подавать рассчитанное по формуле (3.8) 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:

$$V_{ог} = 2Q_{с} + Q_{рег}, \text{ м}^3 / \text{мин.} \quad (3.19)$$

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

$$n_{вд} = V_{ог} / q_{вд}. \quad (3.20)$$

На практике к рассчитанному по формуле (3.20) количеству воздуходувок, как правило, устанавливают одну резервную с электродвигателем А-82-6 и мощностью 40 кВт. На всасывающем трубопроводе каждой воздуходувки устанавливается висциновый фильтр-пылеуловитель, рассчитанный на пропуск газа высокого давления, производительностью до 50 м³/мин (по расчётным условиям).

РАЗДЕЛ 4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

4.1. Расчет установки обезжелезивания воды упрощенной и глубокой аэрацией

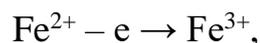
Железо присутствует в воде в виде сложных органических и минеральных соединений, растворов двухвалентного железа, карбонатов и бикарбонатов

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.

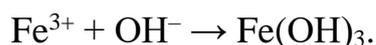
Из используемых безреагентных методов обезжелезивания воды перспективными являются: вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование; упрощенная аэрация и фильтрование; «сухая» фильтрация; фильтрование на каркасных фильтрах; фильтрование в подземных условиях с предварительной подачей в пласт окисированной 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 упрощённой 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 грязеёмкости. 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 разлива 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 растворённого 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 $E=1,36$ 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 $[Fe^{2+}] + 3$ мг/л 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 пропуса 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

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

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

Напор, развиваемый вентилятором, должен быть

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

Емкость контактного резервуара

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

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 $\sum f = 380 : 6 = 63,3 \text{ м}^2$. 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 (H_2S), аммиак (NH_3), 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, $\text{м}^3/\text{ч}$,

Коэффициент сопротивления процессу диффузии в пленке жидкости Kt 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 $\Delta C_{\text{ср}}$, могут быть подсчитаны по заданным условиям работы дегазатора, величина Kt 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.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДООЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

5.1. 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.

5.2. 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 водоочистой станции предусматривают систему обводных водоводов, обеспечивающих возможность подачи воды, минуя основные технологические сооружения, а также отключение отдельных сооружений станции.

Компонируемые технологических и вспомогательных сооружений в виде отдельных зданий допускается только для станций большой производительности (более $100000 \text{ м}^3/\text{сут}$) 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].

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.