6С9.3
П79

УДК 621.187.12→628.16

Кульский Л. А., Булава М. Н., Гороновский И. Т., Смирнов П. И.

Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов. (Издание 2-е, переработанное и дополненное), Киев, «Будівельник», 1972, стр. 424.

В книге приводятся сведения о современных и наиболее распространенных методах обработки воды для хозяйственно-питьевых и технических нужд, а также данные по проектированию и технологическим расчетам очистных сооружений водопроводов.

Во второе издание включены новые нормативные данные, а также изложены новые виды специальной обработки воды — фторирование и обесфторирование питьевой воды, стабилизационная обработка охлаждающей воды, удаление кремнекислоты. Кроме того, в книгу внесены технико-экономические расчеты и сравнение вариантов стоимости очистных сооружений водопроводов.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся проектированием станций обработки воды, а также может быть использована работниками коммунальных и промышленных водопроводов, студентами старших курсов высших и специальных средних учебных заведений по специальностям водоснабжение и канализация.

Рисунков 190, таблиц 79, библиография из 212 позиций.

Леонид Адольфович Кульский, Михаил Никифорович Булава, Игорь Трифильевич Гороновский, Павел Иванович Смирнов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДОВ

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Спецредактор *М. В. Демура*
Редактор *С. Н. Сотниченко*
Переплет художника *Б. П. Груденко*
Художественный редактор *Я. М. Яковенко*
Технический редактор *Л. Г. Морозко*
Корректор *Е. А. Шулык*

БФ 02708. Сдано к набору 2. III. 1972 г. Подписано к печати 20. VII. 1972 г. Бумага типографская № 1. 60×90¹/₁₆= =13,25 бумажных, 26,5 физ., 26,5 усл. печ., 30,13 уч.-изд. листов. Тираж 15 0000. Цена 1 руб. 74 коп. Зак. 408.

3—2—10
376—71М

Издательство «Будівельник», Киев, Владимирская, 24.
Киевская книжная типография № 6, Киев, Выборгская, 84.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие промышленности, рост городов и населенных пунктов, создание новых индустриальных и сельскохозяйственных районов обусловливают значительное расширение водопотребления в нашей стране.

К 1970 г. общий расход воды на нужды населения, предприятий и энергохозяйств достиг примерно 210 млн. *м*^{3}*/сутки;* в 2000 г. он составит 730 млн. *м*^{3}*/сутки.* Для удовлетворения такой потребности в пресной воде подземных источников недостаточно и все большее практическое значение приобретают открытые источники водоснабжения, качество воды которых не всегда отвечает требованиям потребителей. В связи с этим большинство водопроводов оборудуют станциями для обработки воды и улучшения ее качества.

В Советском Союзе запасы пресной воды достаточно велики — годовой сток почти 200 тыс. рек и речек достигает 4350 *км*^{3}, запасы подземной воды составляют примерно 110 *км*^{3}. Однако, ввиду неравномерного распределения источников на территории страны, ряд южных и юго-восточных районов являются маловодными или безводными. Обеспечение их пресной водой осуществляется глубоководными каналами из больших рек или магистральными трубопроводами из подземных источников. Большое значение для этих мест приобретает опреснение соленых вод. В настоящее время на полуострове Мангышлак строится первая в СССР двухцелевая установка — ядерный реактор на быстрых нейтронах мощностью 1 *млн. квт,* который обеспечит работу электростанции на 150 тыс. *квт* и опреснительной станции на 110 тыс. *м*^{3}*/сутки.*

Только комплексное использование источников пресной воды для водоснабжения, ирригации, орошения, энергетики, судоходства и рыбоводства создает предпосылки для рационального и экономного расходования водных ресурсов страны. Рост потребления воды обусловливает развитие строительства крупных районных систем водоснабжения населения, промышленности и сельского хозяйства.

В связи с нарастающим дефицитом воды большое значение приобретает применение оборотных и последовательных систем водоснабжения, а также переход промышленности на технологи-

ческие процессы, требующие меньшего расхода воды (замена водяного охлаждения воздушным, отказ от мокрой очистки газов и т. п.).

Повышенные требования потребителей к качеству воды вызывают необходимость разработки принципиально новых методов ее обработки.

Научно-исследовательскими и проектными организациями разработано большое количество методов обработки воды и вариантов очистных сооружений. Особенно ценным является внедрение в практику строительства индустриальных методов, применение сборного железобетона и стандартного шага пролетов.

В настоящей книге приведены данные о проектировании наиболее современных типовых очистных сооружений, используемых на водопроводах. Основное внимание уделено проектированию очистных сооружений для подготовки хозяйственно-питьевой воды.

Материалы в книге изложены на основе разработок, выполненных в Секторе химии и технологии воды АН УССР классификации примесей воды по их фазово-дисперсному состоянию с учетом новых рекомендаций и норм на проектирование водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий.

Раздел I

ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, МЕТОДЫ И РЕАГЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

ГЛАВА 1

ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЕЕ ОБРАБОТКИ

§ 1. Основные сведения о составе воды различных природных источников

Источниками водоснабжения населенных мест, промышленности и сельского хозяйства могут служить подземные воды — артезианские, грунтовые, почвенные, родниковые и поверхностные — реки, каналы, озера, водохранилища, а также воды морей и океанов. Возможно блокирование нескольких источников с различными гидрологическими и гидрохимическими характеристиками.

Вода природных источников в зависимости от содержит вещества минерального и органического происхождения, а также микроорганизмы.

Минеральный состав природных вод определяется, главным образом, характером геологических слоев, через которые протекают эти воды.

Органический состав природных вод формируется, главным образом, за счет соединений, вымываемых водой из почв и образующихся в самих водоемах в результате биологических процессов, а также за счет соединений, вносимых в источники сточными водами населенных мест и промышленных предприятий. Концентрация и соотношение компонентов зависят от происхождения источника водоснабжения и последующего загрязнения.

Состав воды природного источника динамичный. В ней непрерывно происходят процессы окисления, восстановления, осаждения крупных и тяжелых частиц, а также биохимические процессы, приводящие к самоочищению воды.

Основным критерием оценки качества воды является определение физических, химических бактериологических и биологических показателей воды [1].

Физическими показателями воды являются ее температура, запах, вкус, прозрачность, мутность и цветность.

Химическими показателями воды являются: активная реакция воды, окисляемость, наличие азотсодержащих веществ, газов, растворенных в воде, плотного остатка, потери при прокаливании, жесткость воды, наличие сульфатов, железа, марганца, а также некоторых других веществ и радиоактивности [2].

Бактериологический анализ воды сводится к определению кишечной палочки (бактерии Коли) и общего числа бактерий.

Биологическое исследование заключается в изучении водных организмов, располагающихся у дна водоема, берегов и на поверхности подводных предметов (бентоса) или находящихся во взвешенном состоянии в толще воды (планктона).

О качестве воды в природном источнике можно судить на основе ее полного анализа (табл. 1). Для проверки солевого состава эти данные могут быть пересчитаны в *мг-экв/л*

$$\frac{Ca^{2+}}{20,04}+\frac{Mg^{2+}}{12,16}+\frac{Na^{+}}{23,0}+\frac{K^{+}}{39,0}=\frac{SO_4^{2-}}{48,03}+\frac{Cl^{-}}{35,46}+\frac{HCO_3^{-}}{61,03}+\frac{SiO_3^{2-}}{38,03}. \quad (1)$$

Таблица 1 *Полный анализ воды*

I. *Общие сведения*

Название источника _____ Дата отбора пробы _____

Место отбора пробы _____ Дата проведения анализа _____

Наименование определения	Обозначение	*Единица измерения*
II. Физические показатели воды		
Цветность	—	условные градусы
Прозрачность	—	*см*
Запах	—	условные баллы
Вкус	—	то же
Температура	—	°С
Взвешенные вещества (при 110°)	—	*мг/л*
То же, после прокаливания	—	»
III. Химические показатели воды		
Активная реакция	pH	—
Сухой остаток (при 110°)		*мг/л*
Минеральный остаток		»
П я при прокаливании	—	»
О емость	—	*мг/л* O_2
Щелочность	*Щ*	*мг-экв/л*
Жесткость общая	$Ж_o$	то же
» карбонатная	Ж	»
» некарбонатная	$Ж_н$	»
» кальциевая	$Ж_{Ca}$	»
» магниевая	$Ж_{Mg}$	»
Кальций	Ca^{2+}	*мг/л, мг-экв/л*
Магний	Mg^{2+}	то же
Натрий	Na^{+}	»
Калий	K^{+}	»
Железо общее	Fe	»
» закисное	Fe^{2+}	»
» окисное	Fe^{3+}	»
Марганец	Mn^{2+}	»
Медь	Cu^{2+}	»

Наименование определения	Обозначение	Единица измерения
Цинк	Zn	*мг и, мг-экв/л*
Мышьяк	As	»
Бикарбонаты	HCO_3^-	»
Карбонаты	CO_3^{2-}	»
Сульфаты	SO_4^{2-}	»
Хлориды	Cl^-	»
Фториды	F^-	»
Аммиак	NH_3	»
Нитриты	NO_2^-	»
Нитраты	NO_3^-	»
Фосфаты	PO_4^{3-}	»
Кремнекислота	SiO_2	»
Углекислота свободная	CO_2	»
» агрессивная	CO_2	»
Кислород	O_2	*мг/л*
Сероводород	H_2S	»
IV Бактериологические показатели воды		
Общее количество бактерий	—	*в 1 мл*
Количество кишечных палочек	—	(коли-индекс)

Расхождение между суммами в правой и левой части уравнения не должно превышать 5%

Оптимальная температура воды для питьевых целей находится в пределах 7—11°С. Наиболее близки к этим условиям воды подземных источников, которые к тому же отличаются большим постоянством температуры.

Органолептические показатели (мутность, прозрачность, цветность, запах и привкус) воды, поступающей для хозяйственно-питьевых целей, должны соответствовать нормам ГОСТ 2874—54.

Активная реакция (pH) большинства природных вод близка к нейтральной или слабощелочной (6,8—8,0). Постоянство pH воды имеет большое значение для нормального протекания в ней биологических и физико-химических процессов.

Величина плотного остатка и потеря при прокаливании характеризуют степень минерализации природных вод. Они считаются пресными, если остающаяся после выпаривания часть сухого остатка не превышает 1000 *мг/л*. Количество хлоридов в воде не должно превышать 300 *мг/л*, сульфатов — 600 *мг/л*, натрия — не более 200 *мг/л*, а кальция и магния не выше, чем по 100—200 *мг/л*. При употреблении воды с увеличенным солесодержанием наблюдается гипермineрализация организма человека, что приводит к появлению различных функциональных заболеваний.

Жесткость природных вод обусловливается наличием в них ионов кальция и магния. Хотя соли жесткости, по-видимому, и не являются вредными для организма, однако наличие их в воде в большом количестве нежелательно, так как делает воду непригодной для хозяйственно-бытовых нужд.

Карбонатная жесткость вызывается наличием в воде бикарбонатов кальция или магния. Эта жесткость почти полностью удаляется кипячением. Некарбонатная жесткость обусловливается солями соляной, серной, азотной, фосфорной и кремниевой кислот.

Жесткость воды определяют в *мг-экв/л*; 1 *мг-экв/л* соответствует 20 *мг/л* иона Ca^{2+} или 12 *мг/л* иона Mg^{2+}.

Железо и марганец в природных водах встречаются в основном в виде бикарбонатов. Кроме того, железо встречается в соединениях с гуминовой, фосфорной и другими кислотами. Наличие в воде железа и марганца может привести к развитию в трубопроводах железистых и марганцевых бактерий, способных забивать, а иногда и полностью закупоривать водопроводные трубы. В воде, используемой для фото-, кинопромышленности и бумажных фабрик, железо должно полностью отсутствовать.

Кремнекислота попадает в воду при растворении различных силикатных пород. Количество кремнекислоты в природных водах не превышает обычно 30—40 *мг/л*. Она не вредна для здоровья и не играет отрицательной роли при санитарно-гигиенической оценке воды. Однако в воде, используемой для питания паровых котлов, содержание большого количества кремнекислоты недопустимо из-за возможности образования плотной силикатной накипи.

Наличие в природных водах органических и ряда легкоокисляющихся неорганических примесей (сероводорода, сульфитов, закисного железа и др.) обусловливает определенную величину *окисляемости* воды. Она определяется количеством (*мг/л*) кислорода, необходимого для окисления примесей в исследуемой воде. Эта величина является важным гигиеническим показателем качества воды. Резкое повышение окисляемости свидетельствует о загрязнении водного источника и требует проведения соответствующих мероприятий в случае его использования.

Обычно окисляемость воды определяют с помощью перманганата калия, однако при этом окисляется лишь 50% органических веществ. Наиболее полное их окисление (90—95%) достигается в случае применения бихромата калия. Этот показатель иногда называют химическим потреблением кислорода — ХПК.

Азотсодержащие вещества (аммиак, нитриты и нитраты) образуются в воде за счет гниения растительных остатков, химических процессов, а также в результате разложения белковых соединений, попадающих почти всегда со сточными бытовыми водами. Конечным продуктом распада белковых веществ является аммиак. Наличие в воде аммиака растительного или минерального происхождения не опасно в санитарном отношении. Воды, в которых аммиак образовывается в результате разложения белковых веществ, не пригодны для питья.

Растворенный в воде аммиак при окислении кислородом воздуха под действием бактерий постепенно превращается в азотистую и затем азотную кислоты. Поэтому по наличию тех или иных азотсодержащих соединений судят о времени загрязнения воды. Наличие в воде аммиака и отсутствие нитритов указывает на недавнее

загрязнение воды. Совместное наличие их свидетельствует о том, что с момента загрязнения прошел уже некоторый промежуток времени. Отсутствие аммиака при наличии нитритов и особенно нитратов указывает, что загрязнение воды произошло давно и вода за это время уже самоочистилась.

Допустимой для питьевых целей считается вода, содержащая лишь следы аммиака и азотистой кислоты и не более 30—40 *мг/л* азотной кислоты. При наличии в воде более 50 *мг/л* нитратов наблюдается нарушение окислительной функции крови — метгемоглобинемия.

Углекислота встречается в большем или меньшем количестве во всех природных водах. При pH воды меньше 4,5 она находится в них в свободном состоянии — в виде углекислого газа (CO_2), при pH, равной 8,4, — в виде бикарбонатов-ионов (HCO_3^-) и при pH больше 10,5 — в виде карбонат-ионов (CO_3^{2-}). Наличие в воде ионов OH^-, CO_3^{2-} и HCO_3^- обусловливает соответственно гидратную, карбонатную и бикарбонатную щелочность воды.

В воде наблюдается углекислотное равновесие — бикарбонат-ионы содержатся в растворе только при наличии свободной углекислоты. Часть ее, находящаяся в равновесии с бикарбонатами, не вступает в химические реакции, она называется равновесной или инактивной. В отличие от нее избыточная свободная (агрессивная) углекислота является причиной коррозионной активности таких вод. При недостатке равновесной углекислоты происходит образование карбонатных отложений.

Кислород попадает в воду из воздуха за счет его растворения, а также благодаря жизнедеятельности зеленых организмов, населяющих поверхностные воды.

Растворимость кислорода в воде зависит от парциального давления его в воздухе и от температуры воды. Наличие органических веществ и легкоокисляющихся неорганических соединений приводит к снижению концентрации кислорода в воде.

Уменьшение содержания растворенного в воде кислорода при ее пятисуточном хранении в *мг/л* (биохимическое потребление кислорода — $БПК_5$) является важной величиной, характеризующей загрязнение воды органическими веществами.

Сероводород содержится в природных водах в небольших количествах. Он придает воде неприятный запах, вызывает развитие серобактерий и интенсифицирует процесс коррозии металлов.

Фтор должен присутствовать в питьевых водах в количестве от 0,7 до 1,5 *мг/л*; большее его содержание обусловливает почернение и разрушение эмали зубов, недостаток — усиливает кариес зубов.

Иод также необходим в питьевой воде (не менее 10^{-8} *мг/л*), отсутствие его или недостаточное содержание может вызвать распространение среди населения эндемического зоба.

Ядовитые вещества (свинец, цинк, мышьяк, медь и др.) попадают в воду с промышленными стоками и в результате длительного

соприкосновения воды с пластами почвы, содержащими соответствующие соли. Содержание их лимитировано нормами ГОСТ 2874—54.

При выборе источника водоснабжения данные химического анализа воды должны быть дополнены бактериологическими исследованиями. Среди патогенных бактерий, встречающихся в воде, могут быть бактерии, вызывающие бруцеллез, брюшной тиф, паратиф, дизентерию, инфекционную желтуху, острый гастроэнтерит, полиомиелит, сибирскую язву, туляремию, холеру и др. Обычно о бактериальном загрязнении судят по наличию в воде легко определяемых кишечных палочек (бактерии Коли).

В соответствии с ГОСТ 2761—57 (табл. 2) источник считается пригодным для водоснабжения, если в исследованиях среднее количество кишечных палочек на 1 *л* воды (коли-индекс [1]) составляет:

а) при *одном* только хлорировании — 1000,

б) при полной очистке и хлорировании — 10000.

Таблица 2. *Бактериологические показатели качества природной воды*

Пригодность воды к использованию	Коли-титр	Коли-индекс
При условии полной очистки и хлорирования	0,1	10000
	0,15	6670
	0,2	5000
	0,3	3330
	0,4	2500
	0,5	2000
	0,6	1670
	0,7	1430
	0,8	1250
	0,9	1100
При условии только хлорирования	1,0	1000

Рекомендуемые методы обработки воды должны также обеспечивать полное задержание всех видов планктона.

Данные химического и санитарного анализов являются основными документами для проектировщиков. Однако при разработке методов обработки воды необходимо учесть опыт эксплуатации очистных сооружений, работающих в аналогичных условиях, и провести технологические исследования. Методики технологических анализов воды и методы оценки ее технологических свойств разработаны во ВНИИ ВОДГЕО и сведены в рекомендуемые ГОСТ 2919—45; 3312—46; 3313—46.

---

[1] Коли-индекс — количество кишечных палочек в 1 *л* воды; коли-титр — наибольший объем воды ($см^3$), в котором содержится одна кишечная палочка.

§ 2. Требования, предъявляемые к качеству воды различными отраслями народного хозяйства

Вода используется во всех отраслях народного хозяйства в самых различных количествах и для самых разнообразных целей. Основным фактором, определяющим пригодность воды, в большинстве случаев является ее химический состав. От качества воды, потребляемой в производственном процессе, нередко зависит эффективность работы предприятия, себестоимость и качество получаемой продукции.

Воду можно классифицировать по следующим целевым назначениям:

1) хозяйственно-питьевая вода, а также вода, используемая в пищевой и бродильной промышленности;
2) вода для орошения полей и других сельскохозяйственных нужд;
3) вода для охлаждения оборудования;
4) вода для паросилового хозяйства;
5) вода для технологических целей предприятий;
6) вода для заводнения нефтяных пластов.

В зависимости от назначения воды ее физические, химические и биологические показатели должны отвечать определенным требованиям. Этими требованиями определяется выбор источников водоснабжения, технологические процессы обработки воды, а также подбор и компоновка очистных сооружений.

Хозяйственно-питьевая вода. Основные требования, предъявляемые к питьевой воде, — ее безвредность для организма человека, хорошие органолептические показатели и пригодность для хозяйственных нужд.

Выбор источника производится в соответствии с ГОСТ 2761—57 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Правила выбора и оценки качества». Следует ориентироваться на максимальное использование всех наличных ресурсов подземных вод, которые удовлетворяют санитарно-гигиеническим требованиям. Отказ от их применения должен быть обоснован в каждом отдельном случае. Допускается использование минерализованных вод и морской воды при их опреснении, а также геотермальных вод, если они удовлетворяют санитарным нормам.

Требования, которым должно удовлетворять качество воды, подаваемой централизованными водопроводами для хозяйственно-питьевых целей, определяются ГОСТ 2874—54 (табл. 3). Такие же требования предъявляются и к воде, применяемой в молочной, консервной и других отраслях пищевой промышленности.

В воде, используемой для сахарного производства, должны отсутствовать гниющие вещества, вызывающие брожение в диффузорах, количество солей должно быть минимальным, так как повышенная минерализация воды затрудняет варку и кристаллизацию сахара.

Таблица 3. *Требования к качеству хозяйственно-питьевой воды*

Качественные показатели	Допускаемые величины	Методы испытаний по ГОСТ
Мутность	Не более 2 *мг/л*[1]	3351—46
Прозрачность	Не менее 30 *см*	То же
Цветность	Не более 20 *град*[2]	»
Запах и привкус	» 2 баллов	»
Общая жесткость	» 7 *мг-экв/л*[3]	4151—48
Активная реакция (pH)	6,5—9,5	—
Содержание железа (Fe)	Не более 0,3 *мг/л*	4011—48
» свинца (Pb)	» 0,1 *мг/л*	4614—49
» мышьяка (As)	» 0,05 *мг/л*	4152—48
» фтора (F)	» 1,5 *мг/л*	4386—48
» меди (Cu)	» 3 *мг/л*	4388—48
» цинка (Zn)	» 5 *мг/л*	4387—48
Общее число бактерий	» 100 в 1 *л*	5216—50
Коли-индекс	Не более 3	То же
Колн-титр	Не менее 300	»
Водные организмы	Отсутствие	—
Содержание остаточного активного хлора в ближайшей точке к насосной станции	Не менее 0,3 *мг/л* Не более 0,5 »	— 4245—48
Хлорфенольные запахи	Отсутствие	3351—46

В воде, используемой для пивоваренного производства, важно отсутствие гипса, препятствующего брожению солода.

Вода, применяемая для винокуренного производства, не должна содержать хлоридов кальция и магния, вредно отражающихся на жизнедеятельности дрожжей.

Вода, используемая в крахмальном производстве, должна быть свободна от частиц травы, листьев, водорослей. В противном случае при сушке крахмал приобретает бурую окраску. Недопустимо также присутствие в воде грибков и железа, вызывающего желтое окрашивание крахмала.

Вода для сельскохозяйственных нужд. В связи со строительством новых крупных ирригационных систем большое значение имеет химический состав воды, используемой для орошения. Содержание солей в поливных водах не должно превышать 1,5 *г/л*. Большая их минерализация может привести к засолонению почв, уменьшению урожая и даже к его гибели. Особенно вредно для растений накопления ионов натрия при содержании большого количества бикарбонат-ионов.

Вода, применяемая для водопоя животных, зверей и птиц на фермах, должна отвечать требованиям, предъявляемым к воде, предназначенной для хозяйственно-питьевых целей. Поэтому выбор источника водоснабжения в данном случае также производится на

[1] В отдельных случаях по согласованию с органами санитарного надзора допускается до 3 *мг/л*.

[2] То же не выше 35 *град*.

[3] То же до 14 *мг-экв/л*.

основании ГОСТ 2761—57. В местностях, где отсутствует питьевая вода, допускается для водопоя животных подавать воду с повышенной минерализацией (табл. 4); при этом должно быть достаточное количество питьевой воды для обслуживающего персонала и для технологических нужд. Допустимый минеральный состав воды для водопоя животных, не указанных в таблице, зверей и птицы в каждом отдельном случае согласовывается с органами санитарного надзора.

Таблица 4. *Минеральный состав воды, допускаемой для водопоя животных*

Видовые группы животных	Возраст	Предельное содержание в *мг/л*			Общая жесткость в *мг-экв/л*
		сухого остатка	хлоридов	сульфатов	
Крупный рогатый скот	Взрослые животные,	2400	600	800	18
	телята и ремонтный молодняк	1800	400	600	14
Свиньи	Взрослые животные,	1200	400	600	14
	поросята и ремонтный молодняк	1000	350	500	12
Лошади	Взрослые животные,	1000	400	500	15
	жеребята и ремонтный молодняк	1000	350	500	12
Овцы	Взрослые животные,	5000	2000	2400	45
	ягнята и ремонтный молодняк	3000	1500	1700	30

Вода для охлаждения. Вода широко используется для охлаждения оборудования (металлургических печей, двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, конденсаторов паровых турбин, химической аппаратуры). Для обеспечения наилучшей теплопередачи вода должна обладать возможно меньшей температурой, а поверхности теплообмена должны быть свободны от обрастаний и отложений.

Причиной отложений является наличие в природной воде различных растворенных солей, а также взвешенных механических примесей. Особенно вредно присутствие бикарбоната кальция, который при нагревании воды до 50—60° распадается и образуется карбонат кальция, выпадающий в осадок. При этом взвешенные, грубосуспензированные в воде вещества нежелательны, так как они образуют отложения, которые захватываются частицами выпадающих солей временной жесткости, увеличивая толщину накипи, и тем еще более усугубляют нарушение условий теплообмена.

Содержание железа в воде не должно превышать 0,1 *мг/л,* она должна быть коррозионно не активной.

Вода для охлаждения не должна вызывать биологических обрастаний поверхностей, так как температурные условия, связанные с процессами охлаждения, очень интенсифицируют этот процесс. Данные о требованиях к охлаждающей воде [3] приведены в табл. 5.

Таблица 5. *Требования к свойствам и качеству охлаждающей воды*

Охлаждение \ Показатели	Температура в *град*		Взвешенные вещества в *мг/л*		Способность к карбонатным и другим солевым отложениям		Способность к обрастанию
	нормальная	кратковременная	нормально	кратковременно	нормальная	кратковременная	
Холодильников неогневого нагрева (конденсаторы паровых турбин)	25	28	200	1000	Термостабильная	Ограничено термостабильная	Должна быть устранена
Холодильников огневого нагрева (металлургических печей)	35	55	100	500	То же	То же	Не имеет значения
Теплообменной аппаратуры неогневого нагрева (охладители масла, воздуха, газа, бензола и других химических продуктов)	20	25	40	200			Должна быть устранена

Вода для паросилового хозяйства. Вода, используемая для питания паровых котлов, должна быть освобождена в большей или меньшей степени (в зависимости от типа котлов) от солей жесткости, растворенного кислорода и взвешенных веществ. Основные требования к питательной воде [4, 5, 6] приводятся в табл. 6.

Таблица 6. *Требования к воде для паросилового хозяйства*

Показатели питательной воды	Котлы					
	жаротрубные	водотрубные	большой производительности	высокого давления	барабанные	прямоточные и около- и сверхкритических параметров
	Давление в *ати*					
	5—15	15—25	25—50	50—100	100—185	100—150 и 215—300
Жесткость общая в *мг-экв/л*	0,35	0,15	0,05	0,035	0.005	0,003
Кремнекислота (SiO_2) в *мг/л*	Не нормируется					0,02
Углекислота свободная (CO_2) в *мг/л*	Следы					
Кислород (O_2) в *мг/л*	1,0	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01
Соединения натрия (Na_2SO_4) в *мг/л*	Не нормируются					0,02
Соединения железа (Fe_2O_3) в *мг/л*	—	—	—	—	0,01	0,01
Соединения меди (CuO) в *мг/л*	—	—	—	—	0,005	0,005
Нитраты и нитриты (NO_3^- и NO_2^-) в *мг/л*	—	—	—	—	0,02	0,02
Смазочные масла в *мг/л*	10	5	2	1	0,5	Следы
Величина pH	—	—	Не ниже 7		7,0—8,5	7,0—8,5

Прозрачность питательной воды должна быть не ниже 50 *см* по шрифту, т. е. больше, чем прозрачность питьевой воды; общая жесткость ее для котлов среднего давления до 50 *ати* принимается не выше 0,035 *мг-экв/л*, при давлении более 80 *ати* — 0,015 *мг-экв/л* и свыше 100 *ати* — 0,005—0,003 *мг-экв/л*; количество кремнекислоты в воде для котлов низкого и среднего давления не должно превышать 2—3 *мг/л*, прямоточных — 0,02 *мг/л*; содержание смазочных масел в питательной воде для котлов среднего давления допускается до 2 *мг/л*, для котлов высокого давления до 1—0,5 *мг/л*; pH не ниже 7.

Наличие в воде кислот, растворенной углекислоты и кислорода приводит к коррозии внутренней поверхности котла, ускоряя его износ. Поэтому концентрация кислорода в воде, предназначенной для питания котлов низкого давления, должна быть не выше 1 *мг/л*, для котлов среднего и высокого давления — 0,01 *мг/л*, содержание свободной углекислоты — следы.

К воде для технологических целей предъявляются специальные требования, которые диктуются условиями производства. В зависимости от назначения различают:

воду, используемую для добычи, отмывки, гидротранспорта, сортировки материалов, а также для обогащения полезных ископаемых (здесь, в основном, требуется лишь освободить ее от грубой взвеси);

воду, соприкасающуюся с продукцией;

воду, входящую в состав продукта и сохраняющую свою индивидуальность или вступающую с ним в химическую реакцию.

В последних двух случаях требования могут быть значительно выше требований, предъявляемых к хозяйственно-питьевой воде. Так, например, в воде, используемой для фотопромышленности, текстильной и бумажной промышленности, допускается небольшое количество хлоридов и органических веществ, но должны отсутствовать железо, марганец и кремнезем.

Вода, используемая для производства искусственного волокна, должна иметь окисляемость не выше 2 *мг/л* O_2, жесткость ее не должна превышать 0,2—0,7 *мг-экв/л*, количество железа допускается не более 0,03 *мг/л*. Для шелкоткацких и шелкокрасильных фабрик требуется мягкая вода, не содержащая следов железа и органических веществ.

Для кожевенного производства также необходима мягкая вода, так как соли жесткости ухудшают использование дубильных веществ. В воде не должно быть гнилостных бактерий и грибков, уменьшающих прочность кожи.

Вода для заводнения нефтяных пластов. При добыче нефти с заводнением нефтяных пластов используемая вода не должна способствовать закупорке пор фильтрующей поверхности скважин и уменьшать пористость продуктивного пласта за счет образования в нем нерастворимых соединений.

Закупорка пор в основном обусловливается наличием в воде взвешенных веществ (допускается не более 1 *мг/л*), нефти (долж-

но быть менее 1 *мг/л*) и железа (норма до 0,2 *мг/л*), образующего тончайшие суспензии. Иногда обогащение воды желе ом происходит при протекании ее по трубопроводам. В этом слу ае рекомендуется проводить стабилизационную обработку воды для нанесения на внутреннюю поверхность труб защитных плен : карбонатной, фосфатной или силикатной.

Уменьшению пористости пласта способствуют присутствующие в воде бикарбонаты и кислород. При нагреве закачиваемой воды в пласте бикарбонаты разлагаются с выделением карбоната кальция. Кислород способен окислять содержащиеся в пластовых водах сероводород и закисное железо с образованием осадков.

Таким образом, выбор источника производственного водоснабжения необходимо производить с учетом требований к качеству воды, предъявляемых потребителем. Следует отметить, что для промышленных целей разрешается потреблять только поверхностные воды, в том числе воды морей и океанов. Подземные воды используются лишь в случаях потребности для выполнения технологических процессов воды с температурой до 15°С и при наличии запасов этих вод, обеспечивающих хозяйственно-питьевое и промышленное водоснабжение. Возможно применять также геотермальные воды. Сравнивая качество воды в выбранном источнике с нормами ГОСТ для хозяйственно-питьевого и техусловиям для производственного водоснабжения, определяют, какие примеси должны быть устранены, и подбирают соответствующие методы обработки воды

§ 3. Классификация примесей воды. Процессы, используемые для корректирования ее состава

Практический интерес представляет предложенная Л. . Кульским систематизация примесей воды на основе их физико- имических характеристик [7]. Изучение вопроса классификации примесей воды показало, что особенности поведения компонентов воды, имеющие значение для процессов корректирования ее состава, обусловлены, в основном, фазовым состоянием последних и их дисперсностью. Сущность предлагаемой классификации заключается в том, что все примеси воды по отношению к дисперсионной среде (воде) разделены на четыре группы, две из которых представляют собой гетерогенные системы и две другие — гомогенные. Первые образуются присутствующими в воде взвесями и коллоидами, вторые — веществами, дающими с водой молекулярные и ионные растворы. Такой порядок расположения групп и систем с повышающейся дисперсностью примесей целесообразен с технологической точки зрения, так как очистка воды начинается с удаления грубодисперсных примесей и коллоидно-дисперсных веществ. Методы удаления этих загрязнений являются наиболее общими, они широко применяются на всех очистных сооружениях промышленных и коммунальных водопроводов и цехов очистки промстоков.

Процессы, корректирующие содержание молекулярных и ионных примесей, относятся к специальным системам обработки воды и используются в необходимых случаях в качестве дополнительных к основному технологическому комплексу, обеспечивающему удаление гетерогенных примесей.

При наличии в воде нерастворимых соединений фазовая гетерогенность возникает в результате того, что частицы, состоящие из громадного числа атомов или молекул, в зависимости от их химического строения и взаимодействия со средой, образуют трех- или двухмерные структуры, для которых характерно наличие поверхностей раздела с водой. Образующаяся при этом фаза представляет собой однородную часть системы с одинаковым во всех точках составом и физико-химическими свойствами. Для гетерофазных примесей воды большое значение имеет размер частиц нерастворимых веществ, что указывает на ориентировочные пределы максимального развития удельной поверхности. При размере частиц более 10^{-5} *см* они постепенно теряют кинетическую устойчивость и переходят в суспензии и эмульсии. Интервал 10^{-5} *см* — 10^{-6} *см* соответствует области существования коллоидно-дисперсных систем со специфической кинетической и агрегативной устойчивостью. При более высокой степени дисперсности примесей утрачивается физическая поверхность раздела и система становится гомогенной.

Особые свойства имеют примеси воды, образующие при растворении длинные цепные молекулы или макромолекулы. В данном случае теряется физический смысл понятия о поверхности раздела. Следует, однако, отметить, что термодинамические устойчивые растворы высокомолекулярных веществ, ранее рассматривавшихся как гидрофильные коллоидные системы, различаясь природой устойчивости, обладают рядом свойств, присущих гидрофобным коллоидно-дисперсным системам. Поэтому такие примеси воды целесообразно рассматривать в одной группе с веществами, дающими коллоидные растворы.

Образование рядом веществ гомогенных систем в природных водах в основном обусловлено специфическими свойствами воды как полярного растворителя, что создает предпосылку для возникновения однофазных систем молекулярных и ионных растворов. При образовании таких термодинамически устойчивых систем не соблюдаются эквивалентные соотношения между растворенными веществами и растворителем. Однако переменный состав фазы не дает основания рассматривать водные растворы как механические смеси, так как по ряду признаков они близки к химическим соединениям.

В водной среде можно наблюдать протекание двух процессов: соединение разнородных молекул (гидратация) и соединение однородных молекул (ассоциация). Особенно характерно образование в водных растворах более или менее устойчивых гидратов. Существенное значение при ассоциации молекул в растворе, в том числе и молекул воды, имеют водородные связи, необходимым

условием возникновения которых является достаточная полярность валентных связей водорода в исходных веществах.

Из приведенного следует, что фазово-дисперсное состояние примесей воды отражает основные типы взаимодействия, общие для соединений разной химической природы. Так, каждому фазово-дисперсному состоянию примесей в водной среде присущи определенные общие энергетические и кинетические особенности.

Химическая природа веществ, обусловленная принадлежностью к класу органических или неорганических соединений, минералогической характеристикой или структурой молекул, наличием в них элементов с переменной валентностью, π-связей, особых функциональных групп, способностью к реакциям окисления-восстановления, обмена и т. д., может вносить дополнительные коррективы, уточняющие технологию водообработки.

Содержащиеся в воде примеси классифицируются по фазово-дисперсному состоянию в следующие четыре группы (табл. 7).

Группа I объединяет нерастворимые в воде примеси с величиной частиц 10^{-5} — 10^{-4} *см* и больше. Эти взвеси обусловливают мутность воды, а в некоторых случаях ее цветность. В состав группы входят глинистые вещества, карбонатные породы, ил, мелкий песок, малорастворимые гидроокиси металлов, взвеси органических веществ, детрит, планктон и т. д. Во взвешенных частицах возможно присутствие болезнетворных бактерий, споровых микроорганизмов и вирусов.

Для очистки воды от этой группы примесей используют физико-химические процессы, рассчитанные на удаление из воды веществ в пределах от тонких взвесей до крупных частиц: адгезию на поверхности сорбентов и зернистых инертных загрузок, агрегацию при помощи коагулянтов и флокулянтов, флотацию. Кроме того, применяют и механические способы — отстаивание, микропроцеживание, центрифугирование и др.

Группа II объединяет гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси, находящиеся в воде в состоянии золей, а также высокомолекулярные вещества; размер частиц — 10^{-6} — 10^{-5} *см*.

К этой группе веществ относятся коллоидные минеральные и органо-минеральные частицы почв и грунтов, недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ, которые придают воде окраску. Высокомолекулярные соединения представлены в воде гуминовыми и фульвокислотами и их солями.

Обработка воды, содержащей примеси этой группы, большими дозами хлора, озона, а также другими окислителями улучшает ее качество, так как при этом окисляются вещества, придающие цветность воде, гибнут микроорганизмы, разрушаются гидрофильные коллоиды, проявляющие защитные свойства по отношению к гидрофобным примесям воды, и тем создаются благоприятные условия для последующего коагулирования, ускоряется процесс образования и осаждения хлопьев коагулянта. Основными реагентами, обеспечивающими удаление коллоидных примесей из воды, являются коагулянты. Значительное повышение эффекта коагулирова-

Таблица 7. *Классификация примесей воды по их фазово-дисперсному состоянию и процессы, используемые для их удаления*

Гетерогенные системы		Гомогенные системы	
Взвеси (группа I): суспензии и эмульсии, обусловливающие мутность воды, а также патогенные микроорганизмы и планктон	Коллоидные растворы (группа II), коллоиды и высокомолекулярные соединения, обусловливающие окисляемость и цветность воды, а также вирусы	Молекулярные растворы (группа III): газы, растворимые в воде, органические вещества, придающие ей запахи и привкусы	Ионные растворы (группа IV): соли, кислоты, основания, придающие воде минерализацию, жесткость и щелочность
Механическое безреагентное разделение	—	Десорбция газов и легколетучих органических соединений при аэрировании	Перевод ионов в малодиссоцинированные соединения
	Окисление хлором, озоном и др.	Окисление хлором, озоном, перманганатом и др.	Перевод ионов в малорастворимые соединения
Адгезия на высокодисперсных и зернистых материалах, а также на гидроокислах алюминия и железа	Адсорбция на гидроокисях алюминия и железа, а также на высокодисперсных глинистых минералах	Адсорбция на активированных углях и др. материалах	Фиксация ионов на твердой фазе ионитов
Агрегация при помощи флокулянтов	Агрегация при помощи флокулянтов катионного типа	Экстракция органическими растворителями	Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды
Флотация		Эвапорация	Использование подвижности ионов в электрическом поле
Бактерицидное воздействие на патогенные микроорганизмы и споры	Вирулицидное воздействие	Биохимическое разложение	

ния достигается введением флокулянтов и прежде всего активной кремнекислоты

В некоторых случаях хорошие результаты очистки воды от коллоидных примесей достигаются контактной коагуляцией. Основой этого процесса является «адагуляция» — своеобразная форма взаимодействия и слияния разнообразных частиц, значительно различающихся своими размерами

Группа III объединяет растворенные в воде газы и молекулярно растворимые органические соединения как биологического происхождения, так и вносимые со стоками промышленных предприятий и населенных пунктов Вещества третьей группы придают воде самые разнообразные привкусы и запахи, а иногда и окраску Размер частиц веществ третьей группы составляет $10^{-7} — 10^{-6}$ *см*.

Наиболее активными процессами удаления из воды веществ третьей группы являются аэрирование, окисление, адсорбция Растворенные в воде газы и летучие органические вещества удаляются путем аэрирования воды Растворенные в воде одно- и многоатомные фенолы, большинство продуктов органического синтеза, гуминовые и фульвокислоты разрушаются под действием сильных окислителей. Многие вещества данной группы выводятся из воды при помощи активированного угля Для адсорбционного извлечения из воды низкомолекулярных соединений можно применять мелкопористый уголь (марки КАД и БАУ) Для удаления веществ с более крупными молекулами, например, фульвокислот и гуминовых кислот, следует использовать крупнопористый уголь (марки ОУ и А).

Группа IV объединяет вещества, диссоциирующие в воде на ионы, размер их порядка $10^{-7} — 10^{-8}$ *см*.

Примеси природных вод, относящиеся к четвертой группе, представляют собой электролиты Количественными характеристиками равновесного состояния их в растворе являются степень и константа диссоциации Как известно, электролиты, диссоциирующие в 0,1-н растворах на 30% и более, называют сильными, а электролиты, степень диссоциации которых не превышает 3% — слабыми В случае сильных электролитов (к ним относятся все растворенные в природной воде соли) в связи с отключением их растворов от классической теории электролитической диссоциации при вычислении констант диссоциации необходимо использовать активности или умножать аналитически определяемые концентрации ионов на соответствующие коэффициенты активности.

Техника очистки воды от примесей, входящих в четвертую группу, заключается в связывании ионов, которые подлежат удалению, в малорастворимые и слабодиссоциированные соединения Для этой цели применяют также ионообменные реакции, протекающие на поверхности твердой фазы (на ионообменных смолах) Освобождение воды от ионов можно осуществлять путем испарения, перевода в твердую фазу (вымораживание, гидратный метод) и путем добавления соответствующего несмешивающегося с водой растворителя для образования двух фаз, используя неравномерность рас-

пределения ионов между этими фазами В некоторых случаях целесообразно использовать подвижность ионов в электрическом поле (*электродиа*).

Следует отметить, что между состояниями веществ, четко опре- ими их положение в каждой из перечисленных ниже групп суще уют еще и промежуточные состояния, обусловленные дина мической связью между описанными системами Так молекулярные растворы могут быть част о диссоц бые электролиты), а п ассоциации частиц они приближак лоидным растворам пр е место между коллоид и *молекулярными раст* *ают и высокомолекуляр* соединения Они также могут содержат оногенные группы бные (в опр ленных у) юдвиж е ионы, содержащиеся в растворе Наличие подобных си придает разработанной классификации особую гибкость, та позволяет с помощью физико-химических процессов перево в меру необходимости, загрязняющие воду вещества из од фазово-дисп о состояния в другое

Рассмотрев в *ельности все четыре группы, можно сделат* д, что предл ная классификация полностью включает вс еси, загрязн водоемы Используя ности, характе ющие каждую группу веществ, можно находить эффективны удаления всего комплекса примесей воды при помощи но го количества соответствующим образом скомпонованны ентов стных ружений

бор технологического метода обработки, об вающе необходимую степень *очистки*, кно осуществля огласн . 8, 9. 10 и 11, в которых содержатся данные о способах обр. и воды, условиях их примене ия в зависимости от качестве показателей последней, об используемых реагентах и их ра , составе очистных сооружений, степени допускаемой этим дами очистки воды.

§ 4. Реагенты, применяемые при обработке воды

роцессы, используемые при обработке воды можно раздели ве бол ие группы — бе реагентные и реагентные Как вид риведе й выше класси ации приме воды и методов ения, к безреагентны ессам относятся осветление и ча ое ды ием, ожи чер и, ф ез перегс ки и ые ки, центрифугированием; обеззараживание воды излучени ультрафио м, ультразвуком, гам излучением и д зация воды ированием и вакуумирог ием; опреснение ис истилляцией, вымораживанием и электродиализом.

собенно большое р пространение при водообработке полу реагентные методы ..ищения качества воды Для очистки пр ных вод, предназначенных для хозяйственно-бытового и тех ого водоснабжения, применяется свыше 30 различных реаг

Таблица 8. *Методы удаления из воды веществ группы* I

№ п.п	Процессы	Технологические способы обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 $м^3$ воды	Состав очистных сооружений	Степень очистки
1	2	3	4	5	6	7
1	Механическое безреагентное разделение	Отстаивание	Грубодисперсные примеси до 500 *мг/л*, цветность до 50 *град*	–	Водозаборные ковши, отстойники	60—70%
		Фильтрование	Взвешенные вещества до 50 *мг/л*, цветность 50 *град*		Медленные фильтры	95—99% микроорганизмов, мутность до норм, установленных стандартом
			Взвешенные вещества до 1000 *мг/л*, цветность до 50 *град*		Предварительные фильтры	60—80%
		Микропроцеживание	Планктон более 1000 *кл/см*^{3} и взвеси		*Микрофильтры*	70—95%
		Центрифугирование	Грубодисперсные примеси		Непрерывно действующие центрифуги, гидроциклоны	80—90%
2	Адгезия на высокодисперсных и зернистых материалах, а также на гидроокисях алюминия и железа	Фильтрование через намывной слой вспомогательного вещества	Тонкодисперсные взвеси соединений железа и марганца и необходимость их глубокого удаления	Диатомит, трепел, асбест, целлюлоза, активированный уголь и др. (1—60 *кг*)	Диатомитовые и другие намывные фильтры	По мутности до норм, установленных стандартом
		Фильтрование с использованием явления контактной коагуляции	Взвешенные вещества до 150 *мг/л*, цветность до 150 *град*	Коагулянты: сернокислый алюминий, хлорное железо (10—120 *кг*). Флокулянты: полиакриламид (0,2—0,6 *кг*), активная кремнекислота (1—2,0 *кг*)	Установки для приготовления и дозирования растворов реагентов, контактные осветители или контактные фильтры	До норм, установленных стандартом
		Обработка высокодисперсными глинистыми минералами с последующим отстаиванием и фильтрованием	Патогенные бактерии, споры	Минералы: палыгорскит, монтмориллонит и др. (100—500 *кг*). Флокулянты: полиакриламид (0,015—0,7 *кг*)	Установки для приготовления и дозирования суспензий глинистых минералов, смесители, отстойники, фильтры. Установки для приготовления и дозирования реагентов	98,0—99,9%

		Обработка воды коагулянтами с последующим удалением взвесей отстариванием и фильтрованием	Взвешенные вещества и цветность воды не ограничены; патогенные бактерии, споры	Коагулянты: сернокислый глинозем (40—250 *кг*) и хлорное или сернокислое железо (20—150 *кг*); реагенты для подщелачивания — известь, сода	Установки для приготовления и дозирования растворов реагентов, смесители, камеры хлопьеобразования, осветлители или отстойники, фильтры	До норм, установленных стандартом
3	Агрегация при помощи флокулянтов	Обработка воды коагулянтами с применением флокулянтов и последующим отстариванием, фильтрованием	То же	То же и флокулянты: активная кремнекислота (3—20% от дозы безводного коагулянта) или полиакриламид (0,01—3,0 от количества взвешенных веществ)	То же и установки для приготовления и дозирования растворов флокулянтов	То же
4	Флотация	Безреагентная флотация	Нефти и масла (50—150 *г/м*^{3})	Воздух (50—300 *м*^{3})	Флотаторы и устройства для диспергирования воздуха	90[1]
		Флотация с применением реагентов	То же, при необходимости глубокой очистки	То же и добавка жирных спиртов (10 *кг*), сернокислого алюминия или хлорного железа (20—50 *кг*), активной кремнекислоты (10 *кг*)	То же	95—99%
5	Бактерицидное воздействие на патогенные микроорганизмы	Обработка воды окислителями:				
		хлорирование	Бактериальное загрязнение	Хлор (10—20 *кг*) или двуокись хлора (1—5 *кг*)	Склады хлора, хлораторы, смесители, контактные резервуары, установки для получения ClO_2	Получение воды стандартного качества
				Поваренная соль (10—100 *кг*) электроэнергия (50—100 *квт.ч*)	Склады соли, гипохлоритные установки, смесители, контактные резервуары	То же
		озонирование	То же	Озон (0,5—4 *кг*)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и устройствами для введения озона в воду	То же
		Обеззараживание и консервирование воды ионами серебра и других тяжелых металлов	То же при необходимости длительного хранения	Серебро металлическое (0,05—0,5 *кг*), медь (0,2—1,0 *кг*); электроэнергия (0,4—5 *квт·ч*)	Понаторы типа ЛК, резервуары для хранения воды	»
		Обработка воды:				
		ультразвуком	Патогенные бактерии, споры и др	Электроэнергия (200—400 *квт·ч*)	Ультразвуковые установки	95%
		ультрафиолетовыми лучами	То же при небольшом содержании взвеси	Электроэнергия (50—100 *квт.ч*)	Бактерицидные установки с лампами РКС-2,5; ПРК-7; БУВ-30 и др.	98—99%

Таблица 9. *Методы удаления из воды веществ группы II*

№ п.п	Процессы	Технологические способы обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Используемые реагенты и их расход на 1000 л* воды	Состав очистных сооружений	Степень очистки
1	2	3	4	5	6	7
1	Окисление хлором, озоном и др.	Хлорирование	Повышенное содержание в воде коллоидных и высокомолекулярных соединений, обусловливающих окисляемость и цветность воды (35–200 *град*); загрязнение воды вирусами	Хлор (10–20 *кг*) или двуокись хлора (1—5 *кг*)	Склады хлора, хлораторы, смесители, контактные резервуары; установки для получения двуокиси хлора	Вода стандартного качества
		Озонирование	То же	Озон (0,5–20 *кг*)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и устройствами введения озона в воду	То же
2	Адсорбция на гидроокисях алюминия или железа, а также на высокомолекулярных глинистых минералах	Коагуляция в свободном объеме: обработка воды коагулянтами с последующим удалением взвеси (см табл. 8, пп. 3 и 4)	Повышенное содержание в воде коллоидных и высокомолекулярных соединений, обусловливающих окисляемость и цветность воды (35–200 *град*)	Коагулянты: сернокислый глинозем (40—200 *кг*), хлорное или сернокислое железо (30—200 *кг*). Флокулянты: активная кремнекислота (0,1–2,0 *кг*), полиакриламид (0,2–0,6 *кг*); для подщелачивания — известь, сода, едкий натр	Устройства для приготовления растворов реагентов и их дозирования; смесители; камеры хлопьеобразования; отстойники или осветлители; фильтры	Получение воды стандартного качества
		обработка воды высокодисперсными замутнителями и коагулянтами	То же при низкой температуре и малой мутности воды; при высокой загрязненности воды вирусами	То же и добавка бентонита, палыгорскита (50—200 *кг*) и других глинистых минералов	То же и устройства для обработки воды замутнителями	То же
		Контактная коагуляция	Коллоидные и высокомолекулярные вещества, обусловливающие цветность воды (35–150°) при малой мутности воды	Коагулянт — сернокислый глинозем (10–120 *кг*) Флокулянты: полиакриламид (0,2–0,6 *кг*), активная кремнекислота (0,1–2,0 *кг*)	Устройства для приготовления растворов реагентов и их дозирования, смесители и контактные осветлители	»

3	Агрегация при помощи флокулянтов катионного типа	Обработка воды катионными флокулянтами	То же	Высокомолекулярные полиэлектролиты катионного типа ВА-2, ВА-3 и др (5—15 *кг*)	Устройства для приготовления растворов флокулянтов, их дозирования, камеры хлопьеобразования, отстойники, фильтры	»
4	Вирулицидное действие	Обработка воды окислителями				
		хлорирование	Загрязнение воды вирусами	Хлор (10—20 *кг*), двуокись хлора (1—10 *кг*)	Склады хлора, хлораторы, смесители, контактные резервуары; установки для получения двуокиси хлора	»
				Поваренная соль (10—100 *кг*), электроэнергия (50—100 *квт.ч*)	Склады соды, электролитические гипохлоритные установки, смесители, контактные резервуары	
		озонирование	То же	Озон (0,5—1 *кг*)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и устройства для введения озона в воду	
		Обеззараживание и консервирование воды ионами серебра и др. тяжелых металлов	То же при небольшом содержании и необходимости длительного хранения воды	Серебро металлическое (0,05—0,5 *кг*), медь (0,2—1,0 *кг*); электроэнергия (0,4—5 *квт.ч*)	Ионаторы типа ЛК, резервуары для хранения воды	»
		Обработка воды:				
		ультразвуком	Загрязнение воды вирусами	Электроэнергия (500—1000 *квт.ч*)	Ультразвуковые установки	95%
		ультрафиолетовыми лучами	То же при небольшом содержании взвешенных веществ	Электроэнергия (50—100 *квт.ч*)	Бактерицидные установки с лампами РСК 2,5; ПРК-7; БУВ-30 и др	98—99,9%

Таблица 10 *Методы удаления из воды веществ группы III*

№ п/п	Процессы	Технологические способы обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м³ воды	Состав очистных сооружений	Степень очистки
1	2	3	4	5	7	8
1	Дезодорация газов и летучих органических соединений при аэрации	Аэрирование	Газы и летучие органические соединения придающие неприятные при	Воздух 2 *л* на 1 *г* двухвалентного железа	*Вертикальные* бассейны, аэраторы и дегазаторы различных типов	Углекислота 65–80% сероводород до 0,3–0,5 *мг/л*
2	Окисление хлором озоном перманганатом и др	Хлорирование	[illegible] летучие органические соединения [illegible]	На 1 *кг* H₂S при окислении до серы (2,1 *кг* Cl_2), фенолов (8,4 *кг* 1 *кг* фенола (6,5–7,5 *кг* Cl_2) или (0,5–1,2 *кг* ClO_2)	Хлораторные установки для получения и дозирования газообразного хлора	Окисление сероводорода уменьшение содержания органических соединений
		Озонирование	Для удаления привкусов и запахов не очень загрязненной воды и малой цветности	Озон (2–4 *кг*)	Озонаторные установки с цехами подготовки воздуха и установками для введения озона в воду	В зависимости от природы удаляемых загрязнений
		Обработка воды перманганатом	Удаление [illegible] и запахов при [illegible] загрязнении [illegible] в воде марганца	Перманганат калия (3–10 *кг*)	Установки для приготовления и дозирования раствора перманганата калия	То же
3	Адсорбция на активированном угле и других материалах	Углем	[illegible] ные запахи и [illegible] естественного [illegible] ждения, а также вносимые со сточными водами	Уголь марок БАУ, А ОУ сухой, КАД пылевидный (5–20 *кг*)	Установки для приготовления дозирования и смешивания с водой угольной суспензии	80–95%
		Очистка воды на угольных фильтрах и в аппаратах со взвешенным углем	[illegible] пкусов и запахов при [illegible] тание в сточных водах ароматических органических веществ	Уголь гранулированный Для регенерации фильтров используют [illegible] нитр либо осуществляют паротазовую регенерацию во взвешенном слое	Угольные фильтры, установки для приготовления регенерационных растворов и [illegible] ры со взвешенным, печи для активирования и регенерации углей	80–95%
4	Экстракция органическими растворителями	Обесфенолирование	Наличие в сточных водах фенолов	Бутилацетат этилацетат бензол и др	Экстракционные установки	

5	Выпаривание	Гидроциркуляционный метод Электродиализ	То же »		Установки для разгонки То же	
6	Биохимический распад	Расположение микроорганизмами аэробное анаэробное	Загрязнение сточных вод Концентрированные стоки осадки	Активный ил, биопленка, воздух Биомасса	Аэротенки биофильтры, отстойники Метантенки и др	90—98% 90—98%

Таблица 11 Методы удаления воды веществ группы IV

№ п/п	Процессы	Технологические способы обработки воды	Область применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м³ воды	Состав очистных сооружений	Степень очистки
1	2	3	4	5	6	7
1	Перевод ионов в малодиссоциированные соединения а) нейтрализация	Подщелачивание или подкисление воды	Повышенная кислотность или щелочность воды (pH<6,5 или pH>8,5)	На 1 кг/экв удаляемой кислотности или щелочности воды один из реагентов (28 кг) известь (53 кг) едкий натр (10 кг) серная кислота (19 кг) соляная кислота (36 кг)	Установки для приготовления и дозирования растворов реагентов смесители	До необходимой величины
	б) образование комплексных соединений	Стабилизация	Индекс насыщения воды $I_н$>0,5	Один из реагентов гексаметафосфат натрия, триполифосфат натрия (2—4 кг)	То же	Предотвращение накипеобразования и коррозии
2	Перевод ионов в малорастворимые соединения а) образование малорастворимых солей	Умягчение: термический способ	Жесткость преобладанием $Ca(HCO_3)_2$ некарбонатная только в виде гипса, мутность меньше 50 мг/л	Нагревание	Термоумягчители (системы Копьева и др.)	Карбонатная жесткость до 0,035 мг-экв/л

Продолжение табл. II

№ п/п	Процессы	Технологические способы обработки воды	Области применения по удаляемым загрязнениям	Реагенты и их расход на 1000 м³ воды	Состав очистных сооружений	Степень очистки
1	2	3	4	5	6	7
		содово-известковый способ	Жесткость 5–30 *мг-экв/л* мутность — до 500 *мг/л*	Сода (53 *кг* на 1 *кг-экв* некарбонатной жесткости) известь (28 *кг* на 1 *кг-экв* карбонатной жесткости)	Смесители, вихревые реакторы установки типа «Струя» осветлители и отстойники с тканевых конструкций	До 0,7–1,0 *мг-экв/л*
		фосфатный способ	После проведения умягчения воды до 2 *мг-экв/л*	Триметафосфат динатрийфосфат (до 126,5 *кг* на 1 *кг-экв* удаляемой жесткости)	То же	До 0,04–0,05 *мг-экв/л*
		б) обескремнивание	Повышенное для котловой воды количество SiO_2	Каустический магнезиальный сорбент (10–15 *кг*) на 1 *кг* SiO_2	Осветлители, фильтры	До 1–1,5 и 0,03–0,1 *мг/л*
	б) образование малорастворимых гидратов окислов	Удаление цветных и тяжелых металлов, а также марганца и железа	Содержание ионов металлов выше и допустимых для сточных вод Умеренное вплоть до содержащей значительное количество марганца	Известь (28 *кг*) едкий натр (40 *кг*), на 1 *кг-экв* ионов	Установки для приготовления и дозирования растворов, смесители отстойники или осветлители-фильтры	До пределов растворимости гидроокисей
	в) окисление закисных форм металлов с образованием их гидроокисей	а) окисление марганца хлорирование	Бикарбонат железа до 25 *мг/л* щелочность до 2 *мг-экв/л* окисляемость до 6 *мг/л* кислота по-вышенное содержание марганца	Воздух хлор (0,7 *кг* на 1 *кг* двухвалентного железа)	Вертикальные бассейны и контактные резервуары осветлители и контактные фильтры	Железо до 0,1–0,3 *мг/л* марганец до 0,1–0,2 *мг/л*
		б) окисление на катализаторах	То же		Фильтры с загрузкой из кварцевого песка с окислами марганца или продуктами окисления закисного железа	То же
3	Фиксация ионов на твердой фазе а) H—Na катионирование	Умягчение	Жесткость до 14 *мг-экв/л* и выше общее вещество до 10–15 *мг/л* (при использовании неподвижного слоя катионита)	Катиониты сульфоуголь — крупный КУ-1 КУ-2 КБ-4 Для регенерации используется хлористый натрий (150–220 *кг*), серная (72 *кг*) и соляная (36 *кг*) кислоты на 1 *кг-экв* удаленной жесткости	Катионитовые фильтры, адсорберы со смешанным слоем катионита установки для приготовления и дозирования регенерационных растворов	До 0,005–0,05 *мг-экв/л*

		Привлечение ионов цветных металлов	Содержание ионов металлов выше норм допустимых для сточных	1 же на 1 *кг-экв* удаляемого металла	То же	То же
	б) ОН-анионирование	Опреснение	1 ве солесодержание —4 *г/л* содержание извести до 8 *мг/л* цвет ность до 30 *град*	Катиониты (см и За) АН-2Ф Э,1Э 7 Аь 16. Для реге используется од ледующих ре едкий (90 ца (90 130 *кг*) с ат раз (110—1 0 *кг*) на 1 *кг-экв* удаленных анионов	ионообменные фильтры, дегазаторы, уста ки для отовления и до зиров регенерацион ных растворов	75—90% солесодержание до 500—1000 *мг/л*
		Обессоливание	То же	То же	ж	99 5—99 9%, солесодержание 10 15 *мг/л*
6	в) удаление фтора (сепарация ионов при различном фазовом составе воды	Обесфторивание	Содержание ионов фтора более 1 5 *мг/л*	Сернокислый алюминий (40—50 *кг*) на 1 *кг* фтора	Фильтры, загружен активированной окис алюминия	До норм стандарта
	а) перевод в газообразное состояние	Дистилляция	Общее солесодержание 20 35 *г/л*	Пар, топливо сланцевая и атомная энергия	Г ат ра ных термических ра ты гели ,ев ные	99 9% или до 20—50 *мг/л*
	б) отделение ионов обратным осмосом	Гиперфильтрация	То же	5— 10 *квт* ч на 1 *м³*	У ожне е ирова ными ем ами	500— 1000 *мг/л*
	в) перераспределение ионов в несмешивающихся жидкостях	Экстракция	Солесодержание 2—10 *г/л* отсутствие солей кальция и магния	Вторичные и третичные амины 2,4 *кг*	Ба рационные ректи фикационные колонны	97—99%
	г) перевод воды в твердую фазу	Опреснение вымораживанием	Солесодержание до 35 *г/л*	Различные хладоагенты естественный холод	Установки с использова и искусственного хо площадки для вы ж ивания	87 - 92%
		Газогидратное опреснение	То же	Углеводороды с числом атомов углерода 1 –4 (п ды дер ф ы и др р ты обусловлены у ой)	Ла ат ные установ ки ак вные реактор тообразователь от ель и узел отдел ных гидратов	До 99%
5	Использование подвижности ионов в электрическом поле	Электродиализ	Общее солесодержание 3— 10 *г/л*, мутность до 2 *мг/л*, содержание железа до 0,3 *мг/л*	Расход электроэнергии 5—20 *квт* ч *м³* опресненной воды	Установки для электрохимического обессоливания воды	До 500—1000 *мг/л*

тов. Основные из них приведены в табл. 12. В большинстве случаев эти вещества используются в растворенном состоянии. В табл. 13 приведена их растворимость (считая на безводный продукт) при температуре от 0 до 100°С, в табл. 14 и 15 — плотности растворов различной концентрации [8]. Следует отметить, что приведенная в таблицах весовая концентрация $C_в$ (число граммов растворенного вещества на 100 г раствора) переводится в весо-объемную $C_{в.о}$ (число граммов растворенного вещества на 1 $дм^3$ раствора) по уравнению

$$C_{в.о} = 10d'C_в, \qquad (2)$$

где d' — относительная плотность раствора (для воды принимают плотность $d_4 = 1000$ $кг/м^3$).

Температурная зависимость d выражается формулой

$$d_t = d_{t_0} - a(t_0 - t), \qquad (3)$$

где a — температурный коэффициент плотности.

Для большинства растворов солей величина температурного коэффициента в интервале 5—35°С составляет примерно 0,25—0,4 $кг/м^3 \cdot град$. Первое значение соответствует концентрации раствора 1% вес., второе — 7,5% вес. (для воды $a = 0{,}07$ $кг/м^3 \cdot град$).

Основными процессами, используемыми для удаления гетерофазных примесей, ухудшающих физические показатели воды, являются осветление и обесцвечивание.

Осветление и обесцвечивание вод достигается при их химической обработке коагулянтами — реагентами, образующими в результате реакции гидролиза рыхлые частицы гидроокисей, адсорбирующие и захватывающие из воды различные окрашенные и взвешенные вещества.

Коагуляцией называется процесс укрупнения частиц в дисперсной системе при их слипании. Она завершается, как правило, образованием агрегатов частиц, видимых невооруженным глазом и выпадающих в осадок.

В технологии водообработки под термином «коагулирование» подразумевают совокупность методов, применяемых при процессе коагуляции гидрофобных примесей воды. В качестве коагулянтов применяют хорошо гидролизующиеся соли алюминия и железа. Методика определения их технических показателей приведена в ГОСТ 2676—44 «Коагулянты для очистки воды».

Сернокислый глинозем (сернокислый алюминий) — неочищенный технический продукт, представляет собой куски серого или зеленовато-серого цвета, получаемые в результате обработки бокситов, нефелинов или глин серной кислотой. В его составе должно быть не менее 9% Al_2O_3 (табл. 16), что соответствует содержанию 30% чистого сульфата алюминия. В нем обычно содержится около 30% нерастворимых примесей и до 35% влаги.

Очищенный сернокислый глинозем получают путем переработки неочищенного продукта или растворения глинозема в серной кислоте в виде плит серовато-перламутрового цвета. Содержание

Таблица 12 *Реагенты, применяемые при обработке воды*

Реагенты	Химическая формула основного вещества	ГОСТ	Насыпной вес в т/м³	Назначение при обработке воды
Глинозем сернокислый технический (очищенный), сорт В	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	12966—67	1,1—1,4	Коагуляция примесей при осветлении и обесцвечивании воды
Глинозем сернокислый технический (неочищенный) марка БМ	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	5155—49	То же	То же
Хлорное железо	$FeCl_3$	11159—65	1,5	То же Особенно целесообразно применение при низких температурах воды
Сернокислое окисное железо	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$	ВТУУ\КП 52—60	1,5	То же
Железный купорос (сернокислое закисное железо)	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	6981—54	1,89	То же Применяется при известковом и известково-содовом умягчении воды
Стекло жидкое (силикат натрия, технический)	Na_2SiO_3	13078—67 14079—67	1,43—1,55[1]	После активации на станции применяется в качестве ускорителя коагуляции
Полиакриламид технический АМФ	Сополимер амида и солей акриловой кислоты	СТУ 120221—64 ВТУ 70401—66	—	Флокуляция для интенсификации хлопьеобразования
Хлор жидкий	Cl_2	6718—68	1,41[1]	Хлорирование воды с целью обеззараживания и интенсификации процессов ее осветления и обесцвечивания
Хлорная известь	$CaOCl_2$	1692—58		То же

Продолжение табл. 12

Реагенты	Химическая формула основного вещества	ГОСТ	Насыпной вес в т/м³	Назначение при обработке воды
Гипосульфит натрия	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	4215—66	1,5	Дехлорирование воды
Сернистый ангидрид	SO_2	2918—45	1,38[1]	То же
Сульфит натрия	$Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$	903—66	1,5	То же
Уголь активированный марки:				
ОУ, сухой		4453—48	0,22	То же. Устранение привкусов и запахов, придаваемых воде органическими веществами
БАУ		6217—52		
КАД, иодный	—	МРТУ 601611—63		
Марганцевокислый калий (перманганат)	$KMnO_4$		1,5	Устранение привкусов и запахов воды
Медный купорос (сернокислая медь)	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	2142—67	1,5	Устранение цветения воды в водоемах, биологического обрастания и развития водорослей
Аммиак жидкий (синтетический)	NH_3	6221—62	0,61[1]	Аммонизация воды
Аммоний сернокислый	$(NH_4)_2SO_4$	10873—64	1,5	То же
		3769—60		Применяется для аммоний-натрий-катионирования
Известь строительная, воздушная, кальцинированная	CaO	9179—59	1,0	Подщелачивание воды. Устранение карбонатной и магнезиальной жесткости воды
Сода каустическая (едкий натр технический)	$NaOH$	2263—59	1,5	То же. Регенерация анионитовых фильтров
Сода кальцинированная (синтетическая)	Na_2CO_3	5100—64	0,9—1,2	Подщелачивание воды. Устранение некарбонатной жесткости воды. Регенерация анионитовых фильтров
Кислота серная (техническая)	H_2SO_4	2184—67	1,84[1]	Стабилизационная обработка воды. Регенерация Н-катионитовых фильтров

Кислота соляная, техническая	HCl	1382-42	1,2[1]	То же
Тринатрийфосфат, технический	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	201—58	1,5	Стабилизационная обработка воды. Доумягчение воды перед котельными установками
Гексаметафосфат натрия, технический	$(NaPO_3)_6$	МРТУ 6085—64	1,5	Стабилизационная обработка воды. Предотвращение выпадания осадка гидроокиси железа
		ТУ 14/0769—64		
Натрий кремнефтористый, технический	Na_2SiF_6	87—66	1,5	Фторирование воды
Натрий фтористый, технический	NaF	2871—67	0,95—1,0	То же
Кислота кремнефтористоводородная	H_2SiF_6	ТУ МХП—502—41	1,1[1]	То же
Кислота фтористоводородная	HF	2567—54	1,12[1]	То же
Соль поваренная		13830—67	0,75—1,0	Регенерация Na-катионитовых фильтров
Катиониты:				
сульфоуголь[2]	—	5996—51	0,70/0,55	Умягчение и опреснение воды
КУ-1[2]	—	ХТУ 107—58	0,74/0,44	
КУ-2[2]	—	МРТУ 605903—65	0,71/0,55	
Аниониты:				
АН-2Ф[2]	—	СТУ 492518—61	0,60/0,40	То же
ЭДЭ-10П[2]	—	492961—61	0,63/0,40	
АВ-17[2]	—	МРТУ 605866—65	0,74/0,40	
Гидразин-гидрат	$N_2H_4 \cdot H_2O$	10729—64	1,02[1]	Обескислороживание воды

[1] Для жидких веществ плотность в $т/м^3$.
[2] Насыпной вес сухого набухшего вещества.

Таблица 13 *Растворимость веществ, применяемых при обработке воды*

Вещество		Температура °С								
Название	Формула	0	10	20	30	40	50	60	80	100
Сернокислый алюминий	$Al_2(SO_4)_3$	23,8	25,1	26,7	28,8	31,4	34,3	37,2	42,2	47,1
Хлорное железо	$FeCl_3$	42,7	45,0	47,9	51,6	—	78,2	78,9	84,0	84,3
Сернокислое железо окисное	$Fe_2(SO_4)_3$	—	—	58,0	—	—	—	—	—	—
Сернокислое железо закисное (железный купорос)	$FeSO_4$	13,5	17,0	21,0	24,8	28,7	32,3	35,5	30,5	—
Окись кальция (известь)	CaO	0 19	0,18	0 17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,08	—
Хлор	Cl_2	1,44	0,98	0,73	0,56	0,45	0,38	0,32	0,22	0
Сернокислая медь (медный купорос)	$CuSO_4$	12,5	14,8	17,2	20,0	22,5	25,0	28,5	35,5	43,0
Марганцевокислый калий (перманганат)	$KMnO_4$	2,7	4,1	5,0	8,3	11,2	14,4	20,0	—	—
Углекислый натрий (сода)	Na_2CO_3	6,5	11,1	17,7	28,4	33,2	32,2	31,7	31,4	31,3
Хлористый натрий (поваренная соль)	$NaCl$	25 3	26,3	26,4	26,5	26,7	26 8	27,0	27,5	28,1
Фтористый натрий	NaF	3,5	—	3,9	4,1	4,2	4,3	4,5	4,7	4,8
Гидрат окиси натрия (едкий натр)	$NaOH$	29,6	34,0	52,2	54,3	56,3	59,2	63,5	75 8	77,6
Ортофосфорнокислый натрий (тринатрийфосфат)	Na_3PO_4	4,3	7,6	10,8	14,0	16,8	22,7	28,5	37,5	43,5
Сернова*т*истокислый натрий (гипосульфит)	$Na_2S_2O_3$	33,4	37,4	41,2	57,1	59,4	62,3	65,7	69,9	72,7
Кремнефтористый натрий	Na_2SiF_6	4,3	5,6	7,0	8,5	10,3	12,2	14,3	18,8	24,5
Аммиак	NH_3	46,7	40,4	34,5	28,7	23,5	18,6	14,4	6,1	0
Сернокислый аммоний	$(NH_4)_2SO_4$	41,3	42,0	42,8	43,7	44,7	45,8	47,0	48,5	50,8
Сернистый газа	SO_2		13,3	9,6	—	5,2	—	3,1	2,1	1,8

Примечание. Растворимость хлора, аммиака и сернистого газа даны для парциального давления 760 *мм рт. ст.*

Вещество	Температура в °С	Весовые проценты									
		1	2	4	6	8	10	20	30	40	50
$Al_2(SO_4)_3$	19	1009	1019	1040	1060	1083	1105	1226	1333 (28%)	—	—
$FeCl_3$	20	1007	1015	1039	1049	1067	1085	1182	1291	1417	1551
$Fe_2(SO_4)_3$	17,5	1007		10	1050	1067	1084	1181	1307	1449	1613
$FeSO_4$	18	1008		1037	1057	1078	1100	1213	—	—	—
$CuSO_4$	15	1009		1040	1062	1084	1107	1206 (18%)	—	—	—
$KMnO_4$	15	1006	1013	1027	1041	—	—	—	—	—	—
Na_2CO_3	20	1008	1019	1039	1060	1081	1102	1190 (17,6%)	—	—	—
NaCl	20	1005	1012	1027	1041	1056	1071	1198	1197 (26%)	—	—
NaF	18	1009		1041	—	—	—	—	—	—	—
NaOH	20			1043	1065	1087	1109	1210	1328	1430	1525
Na_3PO_4	15			1040	1062		1108	—	—	—	—
$Na_2S_2O_3$	20	10		1031	1048	1066	1083	1174	1273	1383	—
Na_2SiO_3	18	10		1042	1065	1088	1112	1238	1320 (2)	—	—
NH_3	20	994	990	981	973	965	958	923		880 (34%)	—
$(NH_4)_2SO_4$	20	1004	1010	1022	1034	1046	1057	1115	1172	1228	1282
$N_2H_4 \cdot H_2O$	15	1000,2	1001	1003	1006	1008	1010	1021	1030	1038	1044
SO_2	15	1006	1011	1033	1033	1043	1052	—	—	—	—
H_2SO_4	20	1006	1012	10	1038	1052	1066	1139	1219	1303	1395
HCl	20	1003	1008	1018	1028	1038	1047	1098	1149	1198	—
HF	20	—	1005	1012	1021	1	1036	1070	1102	1128	1155
H_2SiF_6	17,5	1007	1005	1031	1048	1065	1082	1173	1272	1314 (34%)	—

Таблица 15. *Плотность известкового молока при 20°С в кг/м³*

CaO в г/л	кг/м³	CaO в г/л	кг/м³	CaO в г/л	кг/м³	CaO в г/л	кг/м³	CaO в г/л	кг/м³	CaO в г/л	кг/м³
10	1000	60	1046	110	1083	160	1119	210	1155	260	1191
20	1017	70	1054	120	1090	170	1126	220	1162	270	1198
30	1025	80	1061	130	1097	180	1133	230	1169	280	1205
40	1032	90	1068	140	1104	190	1140	240	1176	290	1213
50	1039	100	1075	150	1111	200	1148	250	1184	300	1220

Al_2O_3 (см. табл. 16) в этом реагенте должно быть не менее 13,5%, что соответствует 45% сульфата алюминия. Его перевозят так, как и неочищенный сернокислый глинозем, — навалом в закрытых железнодорожных вагонах.

Таблица 16. *Основные показатели технического сернокислого глинозема*

Наименование определения	Неочищенный. Марка БМ	Очищенный. Сорт В
	Вес. %	
Окиси алюминия Al_2O_3 не менее	9	13,5
Свободной серной кислоты H_2SO_4 не более	2	0,1
Железа (в пересчете на Fe_2O_3) не более	0,5	1,5
Мышьяка (в пересчете на As_2O_3) не более	0,003	0,003
Нерастворимый в воде осадок не более	23	1

В последнее время в Советском Союзе начали выпускать для обработки воды сернокислый глинозем в жидком виде — в растворе, содержащем 23—25% $Al_2(SO_4)_3$. Его применение исключает необходимость иметь на станции устройство и оборудование для растворения коагулянта, а также упрощает и удешевляет погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование. Налаживается производство *оксихлорида алюминия* $Al(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$, иногда называемого «щелочным коагулянтом». При его применении для обработки воды наблюдается незначительное снижение ее щелочности, что особенно важно для мягких вод [9, 10].

При водоподготовке в качестве коагулянта применяют преимущественно очищенный сернокислый глинозем. Следует, однако, отметить, что он обладает рядом недостатков, основные из них — чувствительность к pH и температуре очищаемой воды. Изоэлектрическая область для гидроокиси алюминия, в которой она имеет наименьшую растворимость, соответствует пределам pH 6,5—7,8. При более низких значениях pH образуется частично растворимое основание соли, при более высоких — алюминаты. При температуре менее 4°С в результате возрастания гидратации гидроокиси алюминия наблюдается замедление процессов хлопьеобразования

и отстаивания, быстрое засорение фильтров, отлежка осадка гидроокиси алюминия в трубах и, наконец, попадание остаточного алюминия в очищенную воду и образование хлопьев гидроокиси в воде уже после разбора ее потребителями.

Хлорное железо представляет собой темные с металлическим блеском кристаллы, легко расплывающиеся на воздухе, поэтому транспортируют его в железных герметических бочках. Получают хлорное железо хлорированием стальной стружки при температуре 700°С, а также как побочный продукт при производстве $TiCl_4$, $AlCl_3$ и др. горячим хлорированием руд. Товарный продукт должен удовлетворять следующим условиям:

Содержание $FeCl_2$	не выше . .	4%
Содержание меди	» . .	0,1%
Содержание мышьяка	» .	0,02%
Содержание свободной HCl	»	5%
Содержание нерастворимого остатка	» . .	1%

Раствор хлорного железа может быть приготовлен на месте потребления хлорированием стальной стружки в водной среде [11]. Смесь хлорного и сернокислого окисного железа получают при хлорировании раствора железного купороса.

Сернокислое окисное железо обычно изготовляют путем растворения окиси железа в серной кислоте. Продукт кристаллический, очень гигроскопический, хорошо растворяется в воде.

Применение окисных солей железа в качестве коагулянтов имеет ряд преимуществ по сравнению с сернокислым алюминием: улучшается коагуляция при низкой температуре воды, отсутствует заметное влияние на этот процесс pH среды, ускоряется осаждение скоагулированных частиц и уменьшается время отстаивания (плотность хлопьев гидроокиси железа больше чем гидроокиси алюминия).

Соли железа необходимо тщательно дозировать, так как нарушение дозировки приводит к проскоку железа в очищенную воду. Хлопья гидроокиси железа осаждаются неравномерно, в связи с чем в воде остается большое количество мелких хлопьев, поступающих на фильтры. Это в значительной мере устраняется при добавлении сернокислого алюминия.

Смешанный алюможелезный коагулянт [12] приготовляют из растворов сернокислого алюминия (чистого или неочищенного) и хлорного железа в весовых пропорциях $FeCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ 1 : 1. На 1 *т* $FeCl_3$ следует брать неочищенного сернокислого алюминия около 3 *т*, поскольку он содержит приблизительно 30%, $Al_2(SO_4)_3$. Указанное соотношение может несколько измениться в конкретных условиях работы очистных станций. Максимальное весовое соотношение $FeCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$ при использовании смешанного коагулянта равно 2 : 1.

Вода, очищенная смешанным коагулянтом, как правило, не дает отлежки даже при низкой температуре, поскольку образование и осаждение хлопьев заканчивается в осиовиом до фильтров, хлопья

осаждаются равномерно, и в отстойниках достигается более полное осветление. Применение смешанного коагулянта позволяет существенно уменьшить расход реагентов.

При использовании смешанного коагулянта введение его составных частей можно осуществлять путем раздельного дозирования или предварительным смешением растворов. Первый метод допускает большую гибкость при переходе от одного оптимального соотношения реагентов к другому. Преимуществом второго метода является большая простота дозирования.

Выбор в качестве коагулянта солей алюминия или железа (или их смесей) следует производить на основании пробных коагуляций в периоды паводков, высокой цветности, мутности и др., а также используя опыт эксплуатации очистных сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Железный купорос (сернокислое закисное железо) представляет собой прозрачные зеленовато-голубые кристаллы, легко буреющие на воздухе. Товарный продукт выпускается двух марок — А и Б, с содержанием соответственно не менее 53 и 47% $FeSO_4$, не более 1% свободной серной кислоты и не выше 0,4 и 1% нерастворимого осадка. Поставляется он в деревянных бочках или барабанах весом до 120 *кг*, а также в ящиках весом 80 *кг*. По согласованию с потребителем допускается отгрузка железного купороса в крытых железнодорожных вагонах или автомашинах без упаковки.

Железный купорос выпускается также в виде 30%-ного раствора, содержащего до 2% свободной серной кислоты, и транспортируется в гуммированной таре.

Окисление $Fe(OH)_2$, образующегося в результате гидролиза железного купороса, при pH воды менее 8 протекает медленно, что приводит к неполному его осаждению и неудовлетворительному ходу коагуляции. В связи с этим в технике, в случаях применения железного купороса, вводят в воду известь, активный хлор или оба реагента вместе, усложняя и удорожая обработку. Поэтому железный купорос используют главным образом на станциях известкового или известково-содового умягчения воды, когда при удалении магнезиальной жесткости pH поддерживают в пределах 10,2—10,3 и соли алюминия неприменимы.

Для интенсификации процесса очистки воды коагулянтами широко применяют *флокулянты* — вещества, способствующие улучшению структурообразования, в результате чего возникают крупные, быстро оседающие хлопья гидроокисей. Наибольшее распространение получили активная кремнекислота и полиакриламид. Особенно перспективно их применение при низких температурах воды.

Активная кремнекислота АК [13, 14] — неорганический флокулянт, приготавливается на водопроводах путем обработки 1,5% раствора силиката натрия (стекло жидкое) различными активаторами, в основном серной кислотой, хлором, сернокислым алюминием или аммонием, углекислым газом. Максимальной актив-

ностью раствор обладает в определенный момент вызревания — перед образованием геля.

Стекло жидкое — основной технический продукт для получения активной кремнекислоты, представляет собой щелочной раствор мета-, ди- и полисиликатов, легко смешивающийся с водой в любых соотношениях. Получают его в результате обработки в автоклавах раствором едкого натра аморфных кремнеземов — трепела, диатомита, опоки, виброизмельченного песка. Транспортируется в стальных бочках или цистернах. Можно хранить в герметизированных железобетонных резервуарах.

Жидкие стекла характеризуются кремнеземистым модулем [1], весовым содержанием SiO_2, Na_2O и $RO+R_2O_3$[2], а также плотностью и вязкостью. Для получения активной кремнекислоты наиболее подходят жидкие стекла, изготовление которых нормируется ГОСТ 13078—67. Они имеют следующую характеристику:

Модуль . . .	2,56—3	Содержание $RO+R_2O_3$ . .	0,45—0,7%
Содержание SiO_2	28—34,5%	Плотность (относительная) .	1,45—1,55
Содержание Na_2O	10—13,5%	Вязкость .	300—500 *спз*

Следует отметить, что жидкие стекла с низким модулем требуют большего расхода активирующих реагентов, при содержании в них SiO_2 более 30% значительно возрастает вязкость раствора, а при наличии в нем большого количества взвешенного или коллоидного кремнезема (не более 10% общего SiO_2) наблюдается выпадение студенистого осадка и даже застудневание всей массы раствора.

Полиакриламид — ПАА, синтетический органический флокулянт, высокомолекулярное соединение, полиэлектролит, выпускается в виде 8%-ного геля. Поставляется ПАА в деревянных бочках или ящиках, вмещающих соответственно 100—150 *кг* и 30—40 *кг* технического продукта. Может храниться в течение 6—8 месяцев при температуре не выше 25°С. Водные рассторы ПАА не обладают коррозионными свойствами. Применяется при обработке воды (в виде 0,1—1% раствора) совместно с сернокислым алюминием [15].

Улучшения процесса хлопьеобразования гидроокисей при обработке воды коагулянтами можно достигнуть также применяя алюминаты, бетониты и др. вещества.

Алюминат натрия $NaAlO_2$ приготовляют растворением гидроокиси алюминия в растворе едкого натра. Его обычно добавляют в воду перед вводом коагулянта в количестве 0,05—0,1 от дозы сернокислого алюминия.

Бентонит представляет собой монтмориллонитовую глину. В практике водообработки употребляется природный продукт — аскангель, или активированные раствором поваренной соли бентониты.

---

[1] Кремнеземистый модуль $M=\frac{\%\ SiO_2}{\%\ Na_2O}\cdot 1{,}032$, где 1,032 — отношение молекулярных весов окиси натрия и окиси кремния.

[2] Сумма окислов кальция, магния, алюминия и железа.

Для *подщелачивания* воды при очистке ее коагулянтами, для связывания образующейся при гидролизе коагулянтов агрессивной углекислоты, а также для целей *умягчения* воды применяются щелочи и карбонатные соли: известь, едкий натр, сода. Для глубокого умягчения применяются также фосфаты.

При *стабилизационной обработке* воды, кроме упомянутых реагентов, применяется мел, мрамор и кислоты — серная или соляная.

Известь на очистные сооружения может поступать в виде негашеной комовой извести, так называемой кипелки, в кусках различного размера или в виде гашеной извести — пушонки.

Содержание CaO в негашеной извести не должно быть меньше 85%. Перед использованием кипелку гасят водой. В связи с тем, что известь плохо растворяется в воде, ее применяют в виде известкового молока.

Технический едкий натр представляет собой куски белого цвета, расплывающиеся на воздухе, транспортируется в железных барабанах. Содержание NaOH согласно нормам ГОСТ для сорта А составляет 95%, для сорта В — 92%. Хорошо растворим в воде.

Кальцинированная сода поступает на очистные сооружения водопровода в бумажных мешках в виде белого порошка. Содержание Na_2CO_3 в ней должно быть не менее 95%.

Фосфаты (тринатрийфосфат, гексаметафосфат) представляют собой белые кристаллические продукты.

Мел (ГОСТ 1498—42) применяется для стабилизации агрессивной воды. Перед употреблением размалывается и затем из него приготовляется меловая суспензия [16].

Мрамор в виде крошки размером 0,5—3 *мм* используется в мраморно-песочном слое фильтров комбинированного действия [17].

Серная кислота представляет собой маслянистую жидкость с удельным весом 1,84, транспортируемую в концентрированном виде в стальных цистернах. Перед употреблением в технологических схемах она разбавляется до 5%-ной концентрации. Разбавленные растворы коррозионно активны к стали, бетону и др.

Соляная кислота — дымящая жидкость, является раствором хлористого водорода в воде (до 40%). Транспортируется в стеклянной таре. Употребляется в виде 5%-ного раствора, очень коррозионно-активна к металлам и бетону.

Для *обеззараживания* воды и улучшения протекания некоторых процессов ее обработки широко используется хлор и его препараты, содержащие активный хлор — хлорная известь, хлорамины, гипохлорит натрия.

В практике зарубежных водопроводов для обеззараживания воды применяются хлориты, двуокись хлора, а также озон.

Хлор жидкий транспортируется в баллонах, бочках или цистернах. Содержание хлора в нем должно быть не менее 99,5% объемных. Содержание влаги не более 0,06% весовых. При употреблении жидкий хлор путем испарения превращают в газообразное состояние и затем с помощью приборов-хлораторов приготовляют концентрированный раствор хлора в воде — хлорную воду.

Аммиак, применяемый при хлорировании воды, поступает либо в жидком виде в стальных баллонах (ГОСТ 6221—62), либо в виде 25%-ной аммиачной воды в стальных бочках (ГОСТ — 9—67). Аммиачная вода не должна содержать фенолов. Сжиженный аммиак перед употреблением превращается в газ, из него в аммонизаторах приготовляется аммиачная вода. При хлорировании с аммонизацией в воде образуются хлорамины, обладающие меньшим окислительным действием. Наиболее эффективен монохлорамин, образующийся при весовых отношениях хлора и аммиака 4 : 1.

Хлорная известь поступает на водопроводы в деревянных бочках в виде белого порошка с сильным хлорным запахом. Содержание активного хлора в хлорной извести в зависимости от ее класса колеблется от 32 до 35%. Употребляется в виде отстоявшегося раствора с концентрацией активного хлора до 25 *г/л.*

Гипохлорит натрия приготовляют путем хлорирования раствора едкого натра (ГОСТ 11086—64) или посредством электролиза раствора поваренной соли в гипохлоритных установках [18, 19].

Хлориты представляют собой твердые продукты со значительно большей активностью, чем хлорная известь и гипохлориты. При введении в воду хлоритов и газообразного хлора в ней образуется двуокись хлора.

Озон получают непосредственно на водопроводах в виде озоно-воздушной смеси путем пропускания осушенного воздуха через озонаторы.

Для *дехлорирования* воды на очистных сооружениях применяется сернистый газ или гипосульфит.

Сернистый газ, или сернистый ангидрид, транспортируется в сжиженном состоянии в стальных баллонах. При использовании переводится в газообразное состояние путем испарения, после чего в специальной аппаратуре приготовляется раствор сернистого газа в воде, который и подается в дехлорируемую воду [20].

Гипосульфит натрия представляет собой кристаллы белого цвета. Поставляется в деревянных бочках. Хорошо растворим в воде. Употребляется в сухом виде или в виде раствора.

Для *устранения привкусов и запахов* естественного и искусственного происхождения используются описанные выше вещества, применяемые для обеззараживания воды (хлор, хлор с аммиаком, двуокись хлора, озон), а также медный купорос и активированные угли.

Медный купорос представляет собой кристаллы синего цвета, легко выветривающиеся на воздухе. Поставляется в деревянных бочках. Хорошо растворим в воде. Применяется в виде раствора.

Активированные угли получают путем активации древесных или каменных углей в виде порошка или зернистого продукта. Поставляют их в бумажных мешках.

Порошкообразные активированные угли используются для водоочистки в сухом виде, в виде «угольного молока» или «черного коагулянта» (суспензия угольного порошка в растворе коагулянта).

Зернистые активированные угли применяют в угольных фильтрах.

С развитием науки и техники все больше расширяется перечень процессов, реагентов и материалов, используемых в технологии обработ[illegible]ды. В качестве интенсиф[illegible]ов процесса коагуляции гет[illegible]ных примесей воды, ухуд[illegible]их ее физические показатели, применяют флокулянты; ведутся поиски катализаторов [illegible]щих про[illegible]ание химических ре[illegible]ий, разрабатываются [illegible]зико-хи[illegible]еские процессы, изме[illegible]ющие состав растворимых пр[illegible]сей воды, увеличивается использование пластических и керамических масс в качестве конструкционных материалов для аппаратуры, сооружений и др. Однако при подготовке воды для питья можно применять лишь те реагенты, на которые имеется разрешение Главного санитарно-эпидемиологического управления Министерства здравоохранения СССР, материалы сооружений, устан[illegible]ок, устройств, т[illegible]одов, емкостей и их покрытий также должны соответствовать требованиям, предъявляемым МЗО СССР к материалам и покрытиям, находящимся в контакте с питьевой водой.

С появлением новых отраслей промышленности — радиоэлектр[illegible], атомной и др. — значительно во[illegible] требования потр[illegible]телей к качеству воды. В ряде случ[illegible]одимы глубокая очистка воды от минеральных и органических примесей, а также получение воды, приближак[illegible]йся к бидистилляту с со[illegible]отвлением порядка нескольких *Мегом*. Одновременно в технол[illegible]ии подготовки питьевой воды начали появляться п[illegible]ессы, улучшающие химический состав природных вод в направлении, полезном для здоровья человека, при которых не только удаляются вредные примеси, но и вводятся недостающие ингредиенты (например фтор). Поэтому такие термины, как очистка воды, очистные сооружения — в настоящее время [illegible]именимы лишь для части [illegible]ов химической технологии пер[illegible]аботки природных вод, б[illegible]ими являются обработка, подготовка или кондиционирование воды, станции обработки воды и др.

ГЛАВА II

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

§ 5 Выбор источника водоснабжения, метода обработки воды и состава основных сооружений станций обработки воды

Водоснабжение объектов проектируется с учетом комплексного *использования и охраны водных ресурсов, а также возможно полного* кооперирования потребителей. При этом необходимо ориентироваться на рай[illegible]ую схему водоснабжения, раз[illegible]ботанную для *осуществл[illegible]ия вновь* или расширения существующего промышленного, с[illegible]скохозяйственного и жилого строительства на осн[illegible]-

вии плана ра тия народ ства Следует отметить, что в данном случа ценка и в эр ика, обеспечивающего водой технологические сооружения водопровода, играет доминирующую р . От п ил го) я воса зависят объем капи- т ных за рат и себес ь ( ) воды

Использование водных ресур для водоснабжения следует оценивать с учетом следующих ф в [21]:

расчетного режима и водохоз ного баланса по источнику;

тр ий, предъявляемых п телями к качеству воды;

характеристики качества воды в источнике,

ги ческих данных,

ги ческих данных,

тр ваний санитарно-гигиенических, охраны водных ресурсов, рыбоох ы т д.,

техни экономического сравнения потребления воды из разных источников,

возмо и искусственного пополнения и образования подземных заг ды

Определ е достаточности водных ресурсов поверхностных источников в оснабжения про водят на осн гидрометрических данных, гидрогеологических четов и составления водохозяйственного баланса При не ости имею ихся рас ов воды в водоеме предусматривают регулирование ее естестве стока в пределах одного гидрологического года м оголет о периода, а также переброску из других ее мо ных п рхностных источников

О ку запасов подземных вод дают на о ии данных и материа ов гидрогеологических поисков, раз и исследований. При этом целесо разно выявить возможность их пополнения подпитыванием по ными водами. Как уже отмечалось (см. § 3), для хо ю питьевых водопроводов используются в первую очередь подземные воды Применение их для п ышленных целей р ается лишь при соотв тствующем обосновании.

Выбор источника водоснабжения должен быть подтвержден результатами топогра ких, гидрологических, гидрогеологических, санитарных и др изысканий Объем их устанавливается в зависи от осо ей и изученности района, ве чины водо а, катего потребителя и стадии проектир ания.

Оценивая условия использования различных источников при раз отке вари тов водоснаб ения, необходимо учи все сред за, затра аемые на стр ельс и эксплуат водопровода Для поверхностных водоемов в ряде случаев следует также учитывать стоимость не ыработанной на ГЭС электроэнергии из-за отбора во ля водоснабжения.

Качество воды, ляемой для питья, должно соответствовать нормам вук го стандарта (ГОСТ 2874—54) Качество воды, пр ой в мышленности, определяется требованиями технол . проц ов с учетом его влияния на выход и себестоимость продукции предприятий.

Улучшение качества природной воды при современной технике ее очистки для хозяйственно-питьевых нужд и технологических целей промышленных предприятий может быть достигнуто различными методами. Проекты водоснабжения должны разрабатываться на основе применения прогрессивных методов обработки воды, высокопроизводительных сооружений, установок и аппаратов, эффективных материалов, новейших методов производства работ, современных принципов контроля и регулирования технологических процессов.

Метод улучшения качества воды и соответствующий комплекс очистных сооружений выбирается в зависимости от физико-химического и бактериологического (а в отдельных случаях и от гидробиологического) состава ее в источнике водоснабжения, от требований потребителя, производительности станции, специфических и местных условий, а также технико-экономических соображений.

Для обоснования метода очистки воды необходимо располагать полным анализом воды источника водоснабжения и данными технологических изысканий свойств воды (коагулируемость, обесцвечиваемость, осаждаемость, фильтруемость и др.). Учитывается также опыт эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Должное внимание необходимо также уделить решению вопроса сброса промывных вод и осадков от технологических сооружений и реагентного хозяйства станции с учетом санитарных требований, предъявляемых к приемнику их стока.

Конструктивное оформление принятой схемы определяется производительностью проектируемых сооружений, рельефом и гидрогеологией площадки.

При выборе методов химической обработки природных вод для целей водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий следует руководствоваться указаниями [21], приведенными в табл. 17.

В основной комплекс очистных сооружений водопроводов, имеющий широкое распространение в практике очистки воды, забираемой из открытых водоемов, входят установки для осветления и обесцвечивания, которые требуют больших капиталовложений и эксплуатационных затрат [22—28]. Они улучшают физические показатели качества воды путем удаления из нее взвешенных, коллоидных и высокомолекулярных веществ, обусловливающих мутность и цветность природных вод. Не менее важным процессом является освобождение воды от болезнетворных бактерий, вирусов и т. д., т. е. ее обеззараживание. Следует отметить, что большая часть патогенных микроорганизмов удаляется при осветлении и обесцвечивании, жизнедеятельность оставшейся части прекращается в результате действия дезинфицирующих реагентов. Обеззараживание — наиболее распространенный, а иногда и единственный метод обработки воды, так как его применяют и на водопроводах, использующих подземную воду, в большинстве случаев не требующей очистки [29, 30].

Таблица 17. *Химические способы обработки воды*

Показатели, ухудшающие качество воды	*Способ обработки*	Рекомендуемые реагенты
Мутность	Коагулирование, обработка флокулянтами	Коагулянты — сернокислый алюминий, хлорное железо и др. Флокулянты — полиакриламид, активная кремнекислота
Цветность, повышенное содержание органических веществ и планктона	Предварительное коагулирование, хлорирование, обработка флокулянтами	Жидкий хлор, хлорная известь, коагулянты, активная кремнекислота
Низкая щелочность, затрудняющая коагулирование	Подщелачивание	Известь, сода
Нестабильная вода:		
отрицательный индекс насыщения (коррозия)	Подщелачивание, фосфатирование	Известь, сода, гексаметафосфат или триполифосфат натрия
положительный индекс насыщения	Подкисление, фосфатирование	Кислоты — серная, соляная. Гексаметафосфат или триполифосфат натрия
Привкусы и запахи	Углевание, предварительное хлорирование, то же с преаммонизацией, обработка перманганатом калия	Активный уголь, жидкий хлор, хлорная известь, перманганат калия, аммиак
Бактериальные загрязнения	Хлорирование, озонирование	Жидкий хлор, хлорная известь, гипохлориты, озон, аммиак
Недостаток фтора	Фторирование	Фтористый или кремнефтористый натрий, кремнефтористый аммоний
Избыток фтора	Обесфторивание	Активированная окись алюминия
Избыток железа	Хлорирование, подщелачивание, коагулирование, обработка перманганатом калия, катионирование	Жидкий хлор, известь, сода, коагулянты, перманганат калия, катиониты
Избыток солей жесткости	Декарбонизация, известково-содовое умягчение, коагулирование, ионный обмен	Известь, сода. Коагулянты — хлорное железо, железный купорос. Катиониты
Общее солесодержание выше нормы	Ионный обмен, электродиализ	Катиониты, аниониты
Содержание кремнекислоты выше нормы	Коагулирование, магнезиальное обескремнивание, сорбционное обескремнивание, ионный обмен	Коагулянты, каустический магнезит, известь, магнезиальный сорбент, аниониты
Наличие сероводорода	Хлорирование, коагулирование, подкисление	Жидкий хлор, коагулянты, кислоты
Растворенный кислород выше нормы	Связывание кислорода восстановителями	Сульфит или тиосульфат натрия, сернистый газ, гидразин

Меньшее значение имеют в обычных системах водоснабжения специальные методы обработки воды (удаление привкусов, запахов и газов, стабилизация, умягчение, обессоливание и т. д.), предназначенные для регулирования молекулярного и ионного состава природных вод, т. е. состава гомогенных примесей. Применяются такие методы эпизодически, или для вод с неблагоприятным химическим анализом, или для вод соответствующего назначения.

Состав объектов станции очистки воды открытых источников водоснабжения для хозяйственно-питьевых целей, включающих в себя комплекс сооружений, необходимый для осветления, обесцвечивания и обеззараживания воды, зависит от метода обработки ее, т. е. от того, используются коагулянт и другие вещества или процесс ведется без реагентов. Предварительный выбор основных технологических сооружений таких станций может быть произведен на основании рекомендаций [21], приведенных в табл. 18.

Таблица 18. *Примерные комплексы основных технологических сооружений для осветления и обесцвечивания воды*

№ п.п	Технологические сооружения	Условия предпочтительного использования		
		Качество воды источника		Производительность стаиции в тыс. *м³/сутки*
		Взвешенные вещества[1] в *мг/л*	Цветность в *град*	
	Обработка воды с применением коагулянта			
1	Прямоточные фильтры:			
	а) сетки и напорные фильтры	до 50	до 80	до 2
	б) сетки и открытые фильтры	„ 50	„ 80	любая
	в) сетки и грубозернистые фильтры для частичного осветления	„ 150	„ 150	„
2	Сетки и контактные осветлители	„ 150	„ 150	„
3	Сетки, вертикальные отстойники, фильтры	„ 2500	любая	до 3
4	Сетки, ответлители со взвешенным осадком, фильтры	„ 2500	„	более 5
5	Сетки, горизонтальные отстойники, фильтры	„ 2500	„	более 30
6	Сетки, двухступенчатое отстаивание, фильтры	свыше 2500	„	любая
	Обработка воды без коагулянта			
7	Медленные фильтры:			
	а) с удалением песка при регенерации	до 50	до 50	до 1
	б) без удаления песка при регенерации (с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений)	до 700	до 50	до 5
8	Префильтры, медленные фильтры без удаления песка при регенерации	до 1000	до 50	до 5

[1] Для пп. 1—6 дано суммарное количество взвешенных веществ, включающее взвесь природной воды и взвесь, образующуюся при гидролизе коагулянта.

В разъяснениях к этим рекомендациям отмечается, что на очистных сооружениях с применением коагулянта предусматриваются сетки (например барабанные) с механизированным удалением загрязнений, обеспечивающие полное выделение примесей крупнее 0,5 *мм*. Вместо сеток устанавливаются *микрофильтры, если* содержание планктона в исходной воде более 1000 *кл/см*^{3}. Схемы, приведенные в п.п. 3—5, следует использовать при содержании взвешенных веществ в природной воде не менее 50 *мг/л*. Осветлители со взвешенным осадком можно применять только при равномерной подаче воды (допускается плавное изменение расхода ±15% в *ч*) и отсутствии резких колебаний ее температуры (не более ±1°С в *ч*). Для первой ступени осветления высокомутных вод возможно применение гидроциклонов, радиальных отстойников и др.

Приведенный перечень сооружений является примерным, он может изменяться и дополняться при детальной разработке проекта, а также в зависимости от качества воды в источнике и особых требований к очищенной воде потребителей. В этих случаях возможно включение в комплекс сооружений устройств для специальной обработки воды.

§ 6. Определение производительности станций обработки воды

Расход воды, поступающей на технологические сооружения, слагается из расхода ее потребителями (полезная производительность станции) и расхода на собственные нужды.

Полезная производительность станции обработки воды, предназначенной для хозяйственно-противопожарных нужд, определяется максимальным суточным водопотреблением с учетом пополнения запаса воды для пожарных целей. Для производственного водоснабжения ее устанавливают по заданиям специалистов, разрабатывающих технологический процесс предприятия.

Расчетный расход воды ($q_{ст}^{расч}$), поступающей с насосной станции первого подъема на станцию водообработки, может быть определен по формуле:

$$q_{ст}^{расч} = \alpha q_{полезн} + q_{доп} \ м^3/ч, \qquad (4)$$

где α — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды;

$q_{полезн}$ — максимальный расход воды для суток наибольшего водопотребления в $м^3/ч$;

$q_{доп}$ — дополнительный расход воды на пожаротушение в $м^3/ч$.

Расход воды на собственные нужды зависит от качества воды в источнике, метода обработки воды, состава и типа технологических сооружений станции. В предварительных расчетах, с учетом повторного использования промывных вод фильтров, его следует принимать равным 3% от расхода воды, поступающей на обработку.

Как правило, очистные сооружения водопровода рассчитывают на круглосуточную равномерную работу. Однако должна быть

предусмотрена возможность отключения отдельных элементов станции для осмотра, чистки, текущего и капитального ремонта. Необходимо также обеспечить равномерное распределение воды между сооружениями и их секциями.

Хозяйственно-противопожарные водопроводы населенных мест должны обеспечивать: хозяйственно-питьевое водопотребление жилых и общественных зданий, полив и мойку территорий города [1]; полив посадок в теплицах и парниках, хозяйственно-питьевые нужды предприятий, технологические потребности производства, не имеющих своего водоснабжения, тушение пожаров, собственные расходы станции подготовки воды, нужды животноводства, прочие потребления, в том числе промывку сетей [2].

В городах для всех указанных целей вода подается централизованным водопроводом, технологические сооружения которого очищают природную воду до норм хозяйственно-питьевого водоснабжения. Предприятия, потребляющие небольшое количество воды, но требующие специальных методов очистки, оборудуются установками, на которых производится соответствующая дообработка воды, поступающей из централизованного водопровода. На крупных предприятиях с большим расходом воды обычно сооружаются самостоятельные водопроводы.

Нормы расхода воды для хозяйственно-питьевых нужд на одного жителя ($q_{\text{макс.сут}}$) зависят от санитарно-технического оборудования зданий.

Исходя из норм водопотребления, максимальный суточный расход воды в населенном пункте на хозяйственно-бытовые нужды равен:

$$Q_{\text{макс.сут}} = q_{\text{макс.сут}} N \ м^3/сутки, \qquad (5)$$

где N — расчетное число жителей, принимаемое в соответствии с планируемым расширением населенного пункта. При этом максимальный расчетный часовой расход для водопровода в дни наибольшего водопотребления составит

$$q_{\text{макс. сут}} = K_ч \frac{Q_{\text{макс.сут}}}{24} \ м^3/ч. \qquad (6)$$

Средний часовой расход в процентах от суточного составляет $100/24 = 4{,}17\%$; коэффициент часовой неравномерности $K_ч$ водопотребления представляет собой частное от деления максимального расхода воды в час на 4,17.

При проектировании отдельного промышленного водопровода *нормы расхода воды на технологические нужды* различных производств, определяемые на основании опыта эксплуатации действующих предприятий, устанавливаются обычно на единицу продукции или агрегат в соответствии с указаниями технологов данной отрасли. Нормы эти необходимо уточнять в каждом отдельном случае составления проекта водоснабжения предприятия, т. к. они зави-

[1] Может быть устроен самостоятельный поливочный водопровод.

[2] Расход воды на промывку водопроводных и канализационных сетей составляет до 10% потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды.

сят от типа используемого оборудования, технологической схемы и местных условий. Следует также различать предприятия с постоянным расходом воды и предприятия с переменным расходом воды в течение суток и в различные сезоны года.

Планируя водоснабжение предприятий, отдельно необходимо учитывать расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих во время их пребывания на производстве. Эта вода поступает из централизованного хозяйственно-питьевого водопровода. Для поливки территории и зеленых насаждений, а также для пожаротушения можно использовать воду промышленного водопровода.

Расход воды на пожаротушение принимается [21] в зависимости от размеров населенного пункта, числа жителей в нем, огнестойкости и этажности зданий. Противопожарный водопровод, как правило, объединяют с хозяйственно-питьевым или производственным. В отдельных случаях, когда такое объединение технически или экономически нецелесообразно, допускается устройство самостоятельного противопожарного водопровода [21]. Расход воды на пожаротушение согласовывается с ГУПО МВД СССР.

Расчетная продолжительность тушения пожара в населенном месте и на производстве принимается равной 3 *ч*, по зданиям I и II степени огнестойкости с производствами категории Г и Д — 2 *ч*.

В течение этого времени должен быть обеспечен полный расчетный расход воды на пожаротушение ($q_{доп}$ см. в формуле (4) при наибольшем часовом расходе ее на другие нужды за исключением полива территории, работы душевых, мойки полов и технологического оборудования в производственных зданиях. Если производительность водопровода недостаточна, создается неприкосновенный запас воды, расходуемый только на тушение пожаров.

Полная производительность очистных сооружений проверяется на пополнение пожарного запаса воды. Этот дополнительный расход воды составляет

$$q_{доп} = \frac{3{,}6 n q_{пож} t_{пож}}{T_{пож}} \quad м^3/ч, \tag{7}$$

где n — число одновременных пожаров;

$q_{пож}$ — норма расхода воды при пожаре в *л/сек*;

$t_{пож}$ — расчетная длительность пожара в *ч*;

$T_{пож}$ — время восстановления пожарного запаса в *ч*.

Величина $T_{пож}$ принимается: в городских населенных пунктах и на предприятиях категории А, Б, В — 24 *ч*; на предприятиях категории Г и Д — 36 *ч*; в сельских населенных местах и на сельскохозяйственных производственных комплексах — 72 *ч*.

§ 7. Проектирование высотного расположения технологических сооружений станций водоподготовки

Комплекс основного и вспомогательного оборудования станций водоподготовки определяется принятым методом обработки воды. Объемы отдельных сооружений рассчитывают на протеканне в них тех или иных физико-химических процессов во всей массе воды,

поступающей на обработку. В связи с непрерывной работой очистных сооружений расчет их сводится к нахождению габаритов различных элементов схемы, времени пребывания в них воды и скорости ее потока, не препятствующей нормальному течению технологического процесса.

По принципу перемещения масс воды в сооружениях различают самотечные и напорные системы.

В самотечных системах применяется аппаратура открытого типа, поступающая на обработку вода протекает в них самотеком в результате разницы гидростатических уровней в различных частях сооружений.

В напорных системах используются аппараты закрытого (напорного) типа, и вода в них передвигается под давлением, создаваемым насосной станцией.

При проектировании наиболее распространенных станций осветления и обесцвечивания воды в целях уменьшения строительной стоимости необходимо технологические сооружения максимально приспособить к рельефу местности. Для этого составляется высотная схема сооружений, на которой устанавливают положение (отметку) уровней воды в различном оборудовании, применяемом в избранной технологической схеме. Она представляет собой графическое изображение в профиле сооружений станций с взаимной увязкой высоты их расположения (рис. 1).

Составление высотной схемы начинают с наиболее низкорасположенного сооружения — резервуара чистой воды (РЧВ). Отметку наивысшего уровня воды в нем обычно принимают из экономических и санитарных соображений на 0,5 *м* выше поверхности земли. Затем, задаваясь потерями напора в оборудовании и соединительных коммуникациях, находят необходимые отметки уровней воды в отдельных сооружениях. Для ориентировочных расчетов принимают следующие величины перепадов уровня воды в *м* с последующим уточнением их при проектировании [21]:

В технологических сооружениях		*В соединительных коммуникациях*	
На барабанных сетках и микрофильтрах	0,5—0,6	От смесителей к отстойникам . .	0,3
В сетках входной камеры контактных осветлителей . . .	0,2	От смесителей к осветлителям со взвешеным осадком . .	0,3—0,5
В смесителе . . .	0,4—0,5	От смесителя или входиой камеры к контактным осветлителям	0,3
В камерах хлопьеобразования . . .	0,4—0,5		
В отстойниках .	0,2—0,3	От отстойников или осветлителей со взвешенным осадком к фильтрам	0,1—0,3
В осветлителях со взвешеным осадком	0,7—0,8		
В фильтрах . . .	2,5—3,0		
В контактных осветлителях	2,2	От фильтров или контактных осветлителей к РЧВ . . .	0,3—0,5
В медленных фильтрах	1,5—2,0		

В измерительной аппаратуре на входе и выходе из станции — 0,5. В индикаторах расхода на отстойниках, осветлителях со взвешенным осадком, фильтрах и контактных осветлителях — 0,1—0,15.

Имея отметки уровней воды в отдельных элементах технологической схемы, при которых гарантируется ее самотечное движение от смесителя до РЧВ, определяют высоты отдельных сооружений и отметки их дна по отношению к поверхности земли. При этом учитывают: рельеф площадки станции, максимальный уровень во-

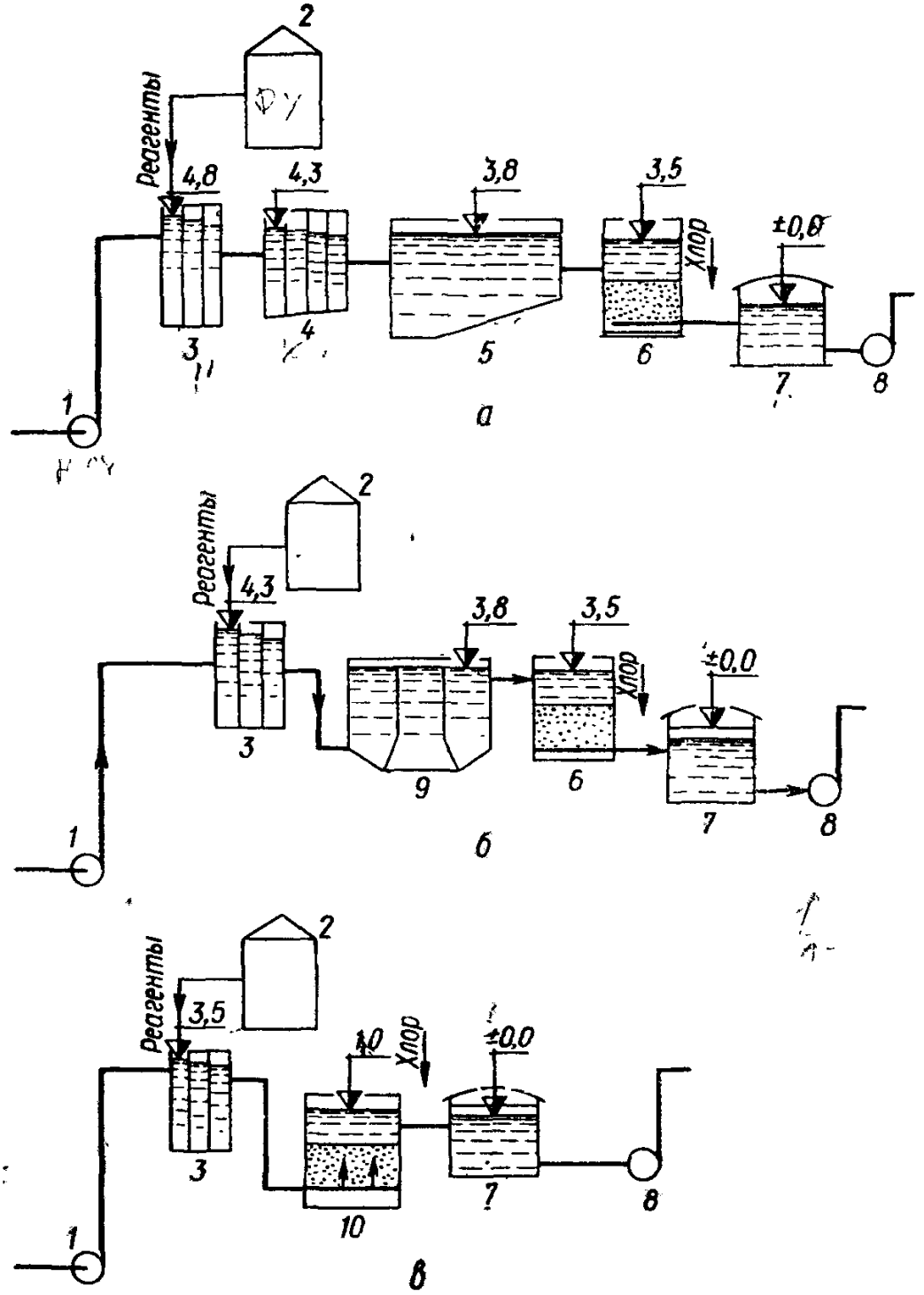


Рис. 1. Высотная схема технологических сооружений станций обработки воды:

а — с отстойниками и фильтрами; *б* — с осветлителями и фильтрами, *в* — с контактными осветлителями;
1 — насосная станция первого подъема; *2* — реагентный цех; *3* — смесители; *4* — камера хлопьеобразования; *5* — отстойники; *6* — фильтры; *7* — резервуары чистой воды; *8* — насосная станция второго подъема; *9* — осветлители со взвешенным осадком; *10* — контактные осветлители.

ды в водотоке или водоеме в период паводка (во избежание подтопления), возможность самотечного отвода сточных вод и осадков из всех сооружений, условия работы насосов второго подъема и промывных насосов (целесообразно ставить их под заливом), производство строительно-монтажных работ и их объем, уровни грунтовых вод, определяющие величину заглубления основных сооружений станции

Учет всех этих особенностей при проектировании необходим для обеспечения экономической высотной схемы как в отношении величины капитальных затрат при строительстве, так и в отношении достижения минимальных удельных расходов электроэнергии и удобства эксплуатации На основании полученных данных разрабатывают высотную схему, на которой отмечают высоту и расположение каждого технологического сооружения. Эти величины и принимают как заданные в после их расчетах

Для вычисления сечения соед ьных трубопроводов и каналов на различных участках станций используют данные о допустимых в них скоростях воды в *м/сек* [21].

От насосов I подъема к смесителю	1,0 —1,2
От смесителя к камере реакции (или осветлителю)	0,8 —1,0
От ка я реакции к отсто ку	0 05—0,10
От ото ников (осветлител к фильтрам	0,8 —1,2
От фильтров к резервуарам чистой воды	1,0 —1,5
В трубах, подводящих промывную воду к фильтрам	1,5 —2,0
В канале для отвода промывной воды после фильтров	Не менее 0,8

В напорных системах, используемых для обработки небольшого количества воды, взаимное высотное расположение отдельных элементов не играет особой роли Потеря напора в таких системах складывается из суммы потерь напора в отдельных аппаратах и соединяющих их трубопроводах, а также из дополнительной потери напора на фильтрах при полном их загрязнении.

§ 8. Основные требования к размещению сооружений станции. Склады реагентов и зоны санитарной охраны

В процессе проектирования водопроводных очистных сооружений наряду с выбором методов обработки воды, состава и типов отдельных сооружений и оборудования необходимо также подобрать наиболее целесообразное взаимное расположение всех элементов станции на генеральном плане строительной площадки [22, 23] Компоновка сооружений и оборудования, а также вспомогательных помещений долж предусматривать минимальные капит вло жения в строите тво, удобство и экономичность эксплу ции, бесперебойность работы, планомерное расширение при росте водопотребл ия Пр тировщ жны непосредственно участвовать в в ре пл адки д ельства

Решающее значение при выборе рационального размещения технологических сооружений на строительной площадке имеет рельеф местности. Сооружения с высокими отметками заложения фунда-

мента необходимо располагать в повышенных местах, а с малыми — в пониженных. Это позволяет сократить объем земляных работ по выемке грунта и обсыпке отдельных сооружений.

Все элементы станций обработки воды необходимо располагать компактно в виде единого комплекса, состоящего из одно-, двух- и трехэтажных зданий, это позволяет уменьшить строительные расходы.

В системах малых водопроводов с небольшой протяженностью водопроводной сети компактность расположения оборудования может быть сведена к размещению на одном участке, а иногда в одном здании очистных сооружений, насосных станций I и II подъема и сетевой башни. Компактность не должна быть причиной тесноты, затрудняющей строительство, монтаж, эксплуатацию и плановое расширение. Исключение составляют технологические сооружения большой производительности (100—200 тыс. *м³/сутки*), при компоновке которых применяется строительство отдельных зданий для сооружения с разрывами между ними около 20 *м*. При большой производительности очистных сооружений их часто выполняют в виде отдельных параллельно работающих групп с разрывами между ними 100—200 *м*.

Для уменьшения строительных затрат допускается использование несущей способности конструктивных элементов основных технологических сооружений. Стены здания станции могут опираться на стены отстойников и фильтров, а перекрытия должны поддерживаться колоннами, размещенными на конструкциях основных сооружений. Исключение составляют осветлители, которые всегда проектируются внутри зданий. Строительство станций обработки воды удешевляется при применении сборного железобетона и стандартного шага пролетов. При компоновке технологических сооружений учитывают необходимость для эксплуатации служебные помещения, в том числе дозаторную реагентов, две хлораторные, дехлораторную и аммонизаторную, а также подсобные сооружения (гардероб, душевую, санитарный узел и др.). Очень важно правильно расположить по отношению к основным сооружениям помещения реагентного и пескового хозяйства, а также склады реагентов.

На очистных сооружениях для хозяйственно-питьевого водоснабжения предусматривают лаборатории. Площади, отводимые для лабораторий и вспомогательных помещений, в зависимости от производительности водоочистных станций принимаются по табл. 19 [21].

Для станций большой производительности (более 300 тыс. *м³/сутки*) состав помещений и их площади устанавливаются в каждом отдельном случае самостоятельно.

В установках небольшой производительности рационально применять напорные прямоточные системы очистки воды, что позволяет, с одной стороны, избегать заглубления отдельных элементов и, с другой стороны, использовать типовое оборудование заводского изготовления. В напорных установках необходимо избегать

Таблица 19 *Площади вспомогательных и подсобных помещений*

Помещения	Площадь в м² при производительности в тыс м³ в сутки				
	менее 3	3—10	10—50	50—100	100—300
Химическая лаборатория	20	20	25	25	20 и 25 (две комнаты)
Весовая	—	—	6	6	8
Бактериологическая лаборатория		18		22	18 и 15 (две комнаты)
Средоварочная и моечная		—	40	12	15
Комната для гидробиологических исследований (при водоисточниках, богатых микрофлорой)	—	—			15
Помещение для реактивов и посуды	6	6			15
Кабинет заведующего лабораторией	—	—	8	10	12
Местный диспетчерский пункт (МДП)	Назначается в зависимости от объема диспетчеризации и автоматизации				
Комната дежурного персонала	8	10	15	20	25
Контрольная лаборатория		10	10	15	15
Кабинет начальника станции	0	6	15	15	25
Мастерская для текущего ремонта мелкого оборудования и приборов	10	10	15	20	25
Гардеробная, душ и санитарный узел	По нормам строительного проектирования				

многократной перекачки воды по технологической схеме и допускать ее лишь в тех случаях, когда излишне большой напор требует значительного утолщения стенок аппаратуры. Следует учитывать также повышенный расход электроэнергии в напорных установках, что обусловливает увеличение эксплуатационных затрат.

Высотная схема станций обработки воды должна обеспечивать самотечный отвод стоков с объектов в любое время года. Это достигается тем, что отметки труб для выпуска сточных вод из сооружений располагаются выше заложения канализационной системы, а в случае отвода стоков в водоем — выше горизонта воды в нем в период паводка. Такое мероприятие особенно важно для обеспечения самотечного спуска сточных вод из скорых фильтров, подвергающихся частой промывке.

Для удобства эксплуатации технологических сооружений необходимо обеспечить соответствующие габариты проходов между отдельными агрегатами для доступности их при обслуживании, хорошую освещенность важнейших пунктов, мест и площадок, с которых осуществляется наблюдение или регулирование процессов, достаточную ширину и пологость лестниц между этажами и пло-

надками, а также выполнение мероприятий по охране труда — ограждение подвижных частей, механизмов, глубоких резервуаров и др.

Согласно рекомендациям [21] строительство открытых отстойников и осветлителей вне зданий допускается в тех климатических районах, где по теплотехническим расчетам толщина льда, образующегося на поверхности воды зимой, не превышает 75 *мм*. Размещение кварцевых и катионитовых фильтров вне зданий возможно, если за период между двумя промывками (12 *ч*) на поверхности воды образуется слой льда толщиной не более 15 *мм*; галереи трубопроводов должны быть утеплены.

Открытые сооружения разрешается также использовать при *осветлении, умягчении и обезжелезивании подземной или подогретой* воды в районах с отрицательными температурами отопительного периода. Они допустимы в случае обработки подземных вод (температура 5—10°С), если средняя температура воздуха не ниже —5°С и наиболее холодной пятидневки не ниже —17°С. Для обработки подогретых вод они применимы при условии следующих соотношений между минимальной температурой воды, поступающей зимой на сооружения ($t_{воды}$), средней отрицательной температурой отопительного периода (T_1) и средней температурой наиболее холодной пятидневки (T_2)

$$t_{воды} \geqslant T_1 - 10; \quad t_{воды} \geqslant T_2 - 15.$$

Бесперебойность работы станций обработки обеспечивается компоновкой, при которой имеются параллельно работающие элементы одинакового назначения, это позволяет производить частичное выключение одних, форсируя работу других. Кроме того, должно быть предусмотрено устройство обводных линий, позволяющих в случае надобности выключать отдельные сооружения, пропуская воду в обход их. При этом для станций обработки воды производительностью до 10 тыс. *м³/сутки* допускается возможность отключения не более 50%, а для станций большей мощности не более 25% сооружений. Иногда обеспечивается подача воды непосредственно от насосов первого подъема к насосам второго подъема.

При компоновке очистных сооружений необходимо предусматривать возможность планомерного их расширения без прекращения работы. Это достигается тем, что количество элементов станции, их взаимное расположение и соединяющие их коммуникации выбираются с учетом возможности добавления дополнительных элементов и строительства помещения для них. Так, например, на станциях осветления и обесцвечивания воды количество фильтров должно быть кратным числу отстойников.

Трубы и каналы для всех установок необходимо рассчитывать *на увеличенную* производительность для возможного форсирования режима. Стороны здания, в направлении которых намечено производить расширение станции, не должны загромождаться постройками постоянного типа и подземными сооружениями.

Рекомендуется составлять несколько вариантов компоновки сооружений, после чего сравнить их в отношении соответствия всем требованиям

В целях обеспечения экономичности эксплуатации станций обработки воды при компоновке их должны быть сведены к минимуму объемы трудоемких работ В связи с этим необходимо сократить пути перемещения реагентов, предусмотреть механизмы для выполнения погрузочно-разгрузочных работ при доставке реагентов со склада и загрузки их в растворные баки, а также механизмы или коммуникации для транспортировки сжиженных газов. Узел технологических сооружений должен быть решен с учетом осуществления полной автоматизации контроля и управления производственными процессами, а также дальнейшего усовершенствования и интенсификации их работы. Технологическая схема, расположение сооружений и коммуникаций между ними должны обеспечивать максимальную маневренность их эксплуатации с вводом реагентов в различных местах.

Склады реагентов проектируют для «сухого» или «мокрого» хранения их в виде концентрированных растворов. Они должны вмещать примерно 30-суточный запас, рассчитанный на период максимального потребления реагентов; с учетом местных особенностей возможно строительство складов и другого объема, рассчитанного на хранение не менее чем 15-суточного запаса реагентов Если планируется поставлять реагенты на станцию водоподготовки железнодорожным транспортом, то емкость складов должна быть кратной объему большегрузного вагона или цистерны при 10-суточном запасе к моменту разгрузки

Площади складов коагулянта и извести (рис. 2, *а*) находят, принимая высоту слоя коагулянта *2 м* и извести 1,5 *м* (насыпной вес их см. в табл 12), эти слои могут быть увеличены на *1 м* при оборудовании склада соответствующими механизмами Необходимо также учитывать возможное «слеживание» плиток очищенного и кусков-комьев неочищенного коагулянта Для хлорного железа в барабанах расчетная высота размещения — 2,5 *м* и для железного купороса в бумажных мешках — 2—3,5 *м* (рис 2, *б*). Концентрация растворов коагулянта при мокром хранении принимается равной 15—20% (на чистый безводный продукт), число баков-хранилищ — не менее 4 штук, если количество их достигает 10, предусматривается 1 резервный бак Перемешивание раствора не предусматривается

Полиакриламид и жидкое стекло хранят в крытых помещениях с плюсовой температурой Для полиакриламида она не должна быть больше 25°С, срок сохранности продукта не превышает 6 месяцев Жидкое стекло содержат в герметически закупоренных деревянных или железных бочках, цистернах. Помещение для активированного угля должно соответствовать требованиям, предъявляемым к складам легковоспламеняющихся веществ

Объем помещения для хранения запаса ионитных материалов рассчитывают на хранение двух загрузок катионитовых фильтров

и по одн загрузке фильтров со слабоосновным и сильноосновным анионит...и

Для соли целесообразнее проектировать помещение, рассчитанное на мокрое хранение; объем бака определяют, принимая емкость 1,5 $м^3$ на 1 $т$ соли, глубину не более 2,5 $м$. При суточном рас-

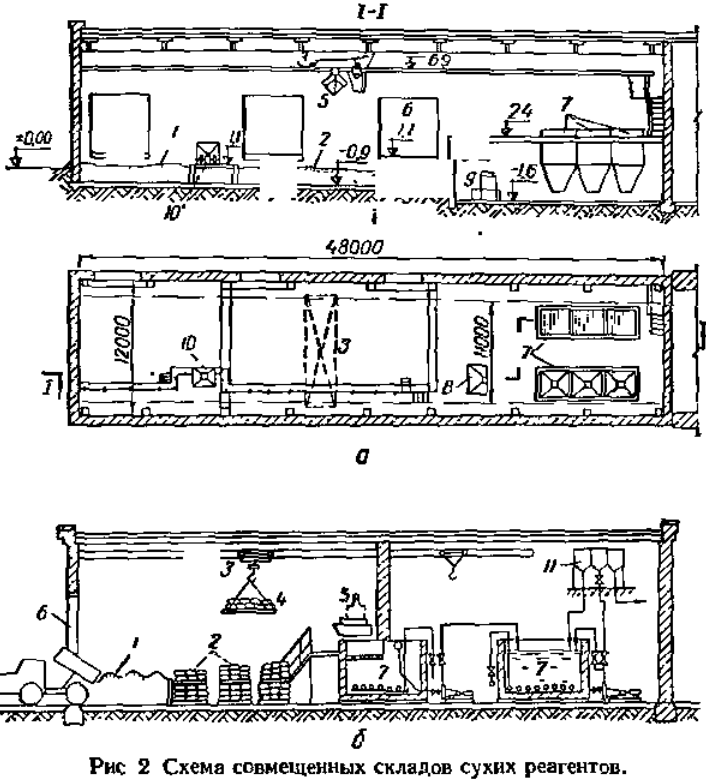


Рис 2 Схема совмещенных складов сухих реагентов.

а — коагулянта и извести *б* — реагентов насыпного и в таре; *1, 2* — склады соответственно извести и коагулянта или насыпного реагента и реагента в таре *3* — электрифицированная кран-балка, *4* — поддон для реагента в таре *5* — контейнер или грейфер для насыпного реагента, *6* — ворота *7* — растворные или расходные баки, *8* — воронка, *9* — известегаситель; *10* — дробилка, *11* — дозатор.

ходе менее 0,5 $т$ допускается сухое хранение, слой соли при этом принимается равным 2 $м$ (насыпной вес см в табл. 12).

Склады кислот, расходные склады хлора и аммиака должны проектироваться на основании «Санитарных правил проектирования, оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ)». Склады для хлора и аммиака рассчитываются на хранение их в бочках. Эти склады должны быть изолированы от других складских помещений и отвечать правилам хранения сжиженных газов. Целе ... располагать

их в самых пониженных точках Если суточный расход хлора превышает 1 *т*, расходный склад может состоять из танков заводского изготовления емкостью до 50 *т*; при этом следует предусматривать также станцию перелива жидкого хлора из железнодорожных цистерн. Оборудование хлорных складов и станций перелива необходимо проектировать с учетом требований, изложенных в правилах устройства и безопасности сосудов, работающих под давлением, а также указаний по организации хлорирования жидким хлором на коммунальных водопроводах Длина хлоропроводов для подачи газообразного хлора с расходного склада к месту хлорирования воды не должна превышать 1 *км*, ее рассчитывают при условии перепада давления не более 1,5—2 *ат*.

Склады для реагентов, кроме хлора и аммиака, размещают вблизи мест приготовления их растворов, используемых при обработке воды; обычно это первый этаж здания реагентного хозяйства Как исключение, на водоочистных станциях большой производительности разрешается строительство отдельных складских помещений для реагентов.

При отсутствии плановых поставок кондиционных фильтрующих материалов и гравия на станциях обработки воды организуют специальное хозяйство для их промывки, сортировки и хранения Определение необходимой площади, подбор соответствующего оборудования производят с учетом потребности ежегодного пополнения фильтрующего материала на 10% и необходимости дополнительно иметь аварийный запас на перегрузку одного фильтра, если число фильтров на станции не превышает 20 шт., и двух-трех — при большем числе. Следует предусматривать подачу фильтрующего материала на сооружения при помощи гидротранспорта. Расчетный расход воды — 10 $м^3$ на 1 $м^3$ зернистой загрузки; диаметр трубопровода вычисляют по скорости движения пульпы — 1,5—2 *м/сек*, но не менее 50 *мм*, повороты должны быть плавными, порядка 8—10 диаметров трубопровода.

Вокруг источника водоснабжения, водозаборных и технологических сооружений, резервуаров чистой воды, вспомогательных помещений, складов реагентов, насосных станций и других зданий водопровода создаются зоны с особым санитарным режимом.

Зоны санитарной охраны обеспечивают соответствующее требованиям ГОСТ качество питьевой воды и предотвращают возможность загрязнения и заражения воды как в источнике, так и в самих водопроводных сооружениях, они разделяются на пояса. В первом поясе, т. е. в местах расположения водопроводных и технологических сооружений, резервуаров чистой воды, насосных станций и других, должно быть постоянное ограждение территории на расстоянии не менее 30 *м* от основных сооружений; вдоль ограждений создается зеленая полоса насаждений. В границах этой зоны строгого режима разрешается пребывание только людей, работающих на объекте или имеющих специальные пропуска и разрешения Для контроля устанавливается постоянная охрана объекта Кроме перечисленных объектов, на территории станции раз-

решается размещать понизительные подстанции, склады хлора, аммиака, коагулянта и других реагентов, ремонтные (механические, электротехнические, строительные) мастерские, центральную котельную, склад фильтрующих материалов Другие подсобные и служебные помещения (контора, помещение охраны, гаражи и др) следует располагать вне зоны строгого режима

В проекте первого пояса зоны санитарной охраны должно быть учтено следующее:

в гра ах зоны запрещается строительство, не связанное с нуждами во снабжения, а также жилых, общественных и административных зданий;

ра ные объекты на территории необходимо с учетом рельефа местности, направления потока грунтовых вод и фильтрационной способности грунтов, выбирая при этом варианты, обеспе щие наилучш санитарные условия

Планировка территории первого пояса и прилегающей к ней территории второго пояса должна обеспечивать отвод атмосферных вод от всех объектов технологических сооружений и с площадки последних

Станции по обработке воды оборудуют водопроводом, канализацией и освещением На территории станций предусматривают устройство дорог и тротуаров (проходов), а также озеленение всех свободных участков дек ными деревьями, кустарниками, цветниками и пр., деревья следует сажать на достаточном расстоянии от сооружений, чтобы избежать разрушения конструкций корнями.

На крупных очистных сооружениях должно быть выделено специальное помещение в здании конторы для персонала зоны санитарной охраны

Второй пояс включает источник водоснабжения, бассейн его питания с притоками до границ водораздела, другие источники и грунтовые воды, которые могут оказать неблагоприятное воздействие; окружающую территорию с населенными местами, предприятиями, сооружениями и т. д., влияющими на состав воды в источнике водозабора В этой зоне санитарной охраны должны быть предусмотрены мероприятия по благоустройству населенных мест, предохраняющие почву и водоемы от загрязнения

На примыкающих зонах наблюдения, включающих населенные места, железнодорожные станции, пристани и предприятия, расположенные на смежной со вторым поясом территории, предусматриваются мероприятия, исключающие распространение инфекционных заболеваний через воду, устанавливается специальный учет всех заболеваний, а также обязательное эпидемиологичес обследование каждого случая заболевания. Для подземных источников водоснабжения третий пояс санитарной охраны не планируется

При проектировании станций обработки воды или расширении существующих также отдельно составляется проект зоны санитарной охраны территории [31].

§ 9. Повторное использование воды и обезвоживание осадка на станциях водообработки

Ст ции подготовки воды для хозяйственно-питьевых и технических целей – ъ ст ляют собой кру нажные производства, основным сы м к рых является п ная вода. Как и на других предприятиях, при работе технологического оборудования расходуется а в основном уже оч ия Таким образ часть поступающ на обработку воды ляется на собс нные нужды В предварительных расчетах ее обычно выражают в долях или процентах от полезного расхода воды

$$Q_{с\,н} = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\, Q_{пол}, \qquad (8)$$

где $Q_{с\,н}$ — расход воды на собственные нужды;

$Q_{пол}$ — полезный расход воды,

α_1 — коэффициент, учитывающий расход воды при выпуске *осадка из отстойников или осветлителей*, равный 0,015—0,03;

α_2 — коэффициент, учитывающий расход воды на промывку фильтров или ко тактн осветлителей, равный соответ ственно 0,03— и —0,1;

α_3 — коэффициент, учитывающий расход воды на специальные методы о ботки, например, для катионитных фильтров он р н 0,1—0,15

Из приведенных данных видно, что потери воды на станциях об работки могут *достигать* ти и ее процентов. Поэтому вполне целесообразно при ответств щем технико-экономическом обосновании применять *повторное использование* , и в первую очередь, после промывки фильтров, где расходуется наибольшее количество полностью очищенной во [32] Особенно рекомендуется осуществлять возврат воды в очис е с ужения при значительном удалении их от источника водоснабжения или при большой разн е высот между ними Если очистка воды произв тся отст ием и фильтрованием, то промывные воды фил ров направляют в резервуар-усреднитель, из него без отстаивания равномерно подают в гол узел очистных сооружений В тех случаях, когда вода о тся только фильтрованием, промывные воды пропускают через горизонтальные, периодического действия, отстойники, мя отстаивания 1 ч, дозы полиакри 0,08—0,16 *мг/л* (ме ше для маломутных цветных вод, е — для мутных вод). Для улавливания песка, выносимого из фильтров или контактных осветлителей, необходимо устраивать песколовку — лучше всего в дне аккумулирующих сооружений Если на станции водоподготовки не проводится предварительное хлорирование, то промывные воды при их повторном использовании обеззараживают

Емкость резервуара усреднителя и количество секций горизонтальных отстойников определяют по графику поступления и откачки промывных вод; число секций отстойников должно быть не менее двух.

При выборе насоса следует учитывать возможное наличие до 15—20% шлама в перекачиваемой воде. Всасывание осветленной воды не должно вызывать взмучивание осадка, выпавшего на дне аккумулирующего резервуара.

Для проектирования могут быть рекомендованы две технологические схемы повторного использования воды:

подача воды от промывки фильтров из аккумулирующих резервуаров без предварительного ее осветления отстаиванием в смесители очистных сооружений или в трубопроводы от станции первого подъема;

осветление сбросной промывной воды в аккумулирующих резервуарах, а затем подача ее непосредственно на фильтры.

Первая схема проста в эксплуатации, недостатком ее является повышение мутности воды исходной за счет взвеси, поступающей с загрязненной промывной водой (примерно 10—15 *г/м*³), и увеличение на 2,5—5,5% гидравлической нагрузки на все сооружения, по которым будет проходить повторно используемая вода.

Вторая схема имеет большую маневренность, в ней отсутствует гидравлическая перегрузка сооружений фильтров, однако требуется сооружение — осветлитель для воды.

В качестве примера на рис. 3 приведена высотная схема установки для повторного использования промывных вод северной станции Мосводопровода. Вода от промывки фильтров по трубопроводу, рассчитанному на пропуск 0,5 *м*³*/сек* воды, через распре-

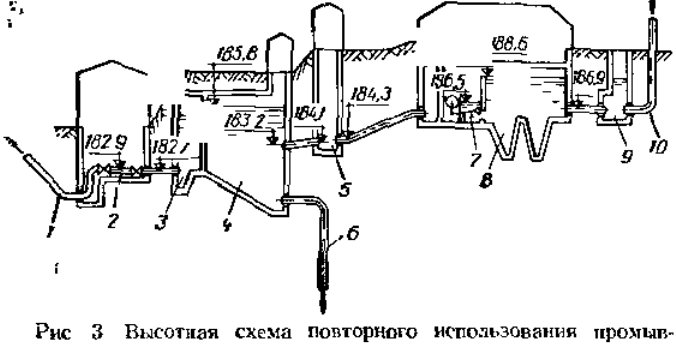


Рис. 3. Высотная схема повторного использования промывных вод

1 — выпуск осветленной воды, *2* — насосная, *3* — сбор осветленных вод, *4* — отстойник промывных вод, *5* — колодец, *6* — сброс осадка, *7* — регулятор-переливок, *8* — резервуар регулирующий приток промывных вод, *9* — распределительный колодец, *10* — подача промывной воды

делительный колодец и регулирующий резервуар поступает в распределительную камеру, из которой по трем водоводам диаметром 900 *мм* со скоростью до 0,3 *м/сек* вытекает в три отстойника, разделенные струенаправляющими перегородками на два коридора. За 3 *ч* в отстойниках осаждается от 15 до 20% взвеси, что объясняется ее мелкодисперсным составом.

Из отстойников вода перетекает в примыкающие к ним сборные резервуары емкостью 1500 *м*³. Насосы 20 НДН перекачивают от-

стоенную воду на станцию водоподготовки; они включаются автоматически от уровня воды в регулирующем резервуаре.

В днище этого резервуара устроены железобетонные бункера для улавливания песка, откуда он периодически удаляется гидроэлеватором.

На практике установлено, что добавка отстоенной промывной оборотной воды в количестве до 25% к исходной воде не ухудшает технологию подготовки питьевой воды на водоочистной станции. Расход воды на собственные нужды станции при этом сокращается примерно на 20%, что дает годовую экономию 12 тыс. рублей [5, 33].

В случаях, когда нецелесообразно повторное использование промывной воды фильтров, но не [illegible]ется за[illegible]е выбр[illegible]ы последней в водоем, необходимо п[illegible]зать с[illegible]ные б[illegible]ерные емкости с расчетом на две промывки. Это позволяет уменьшить расчетный расход отводного коллектора в 10—15 раз.

Обычно осадки из отстойников или осветлителей, а также систем повторного использования воды от промывки фильтров сбрасывают в водотоки (реки); если их используют для водоснабжения, то ниже водозабора. Такие стоки безвредны, но увеличивают мутность воды в источнике (в случае применения H-, Na-катионирования кислые стоки перед спуском нейтрализуются). Более целесообразно спускать их в илонакопители, в качестве которых могут быть использованы естественные впадины или искусственные выработки.

При отсутствии такой возможности по новым нормам [21] рекомендуется отводить осадки из отстойников или осветлителей, а также осадки от систем повторного использования промывных вод на сооружения для *обезвоживания и накопления осадка* — иловые площадки — специально отведенные земельные участки. В нормах на проектирование предусматривается два режима работы таких площадок:

а) *для районов с отрицательными температурами в зимний* период (не менее двух месяцев в год) окончательное уплотнение осадка осуществляется после предварительного его промораживания в естественных условиях [34],

б) для южных районов уплотнение осадка производится под действием гравитационных сил с последующим высушиванием на открытом воздухе.

В северных районах, при соответствующем обосновании, возможен вариант, *при котором* осадок выпускается на иловые площадки только в зимнее время, а в период положительных среднесуточных температур накапливается в специально устроенном хранилище.

Осветленную воду, образующуюся в результате уплотнения осадка на [illegible]овых площадках, а в [illegible]верных районах отделившуюся также по[illegible] оттаи[illegible]ия замороженного осадка, напр[illegible]яют в водоем или при соответствующем экономическом обосновании возвращают на технологические сооружения станции обработки воды.

§ 10. Технико-экономические предпосылки к проектированию станций обработки воды

В системах водоснабжения станции обработки воды по размерам капи[illegible]их затрат на стр[illegible]гельство занимают второе место после водоп[illegible]ной сети и вод[illegible]одов, а по себестоимости воды в эк[illegible]сплуатации — первое место. Поэтому вопросам стоимости строительства и особенно величине эксплуатационных затрат при проектировании станции обработки воды должно быть уделено весьма серьезное внимание

В процессе разработки проекта как очистных сооружений, так всей системы водоснабжения в целом, составляют несколько возможных вариантов проектов и производят сравнение их строительной стоимости и годовых эксплуатационных затрат на обработку воды.

Технико-экономическое сравнение вариантов проектов при их равноценной эффективности, а также окончательное принятие од[illegible]ся на стадии проект[illegible]о задания Такое [illegible]огласно указаниям [illegible]демии наук СССР, Госплана СССР и Нау[illegible]-технического комитета Совета Министров СССР с учетом капитальных затрат на строительно-монтажные работы сравниваемых вариантов сооружений и себестоимости воды по этим же вариантам

При экономическом сравнении вариантов наиболее простым является случай, когда капитальные затраты на строительство (K_1) и годовые расходы на эксплуатацию ($Э_1$) одного из вариантов больше, чем такие же показатели (K_2 и $Э_2$) для другого варианта, т. е. $K_1 > K_2$ и $Э_1 > Э_2$, при этом преимущество имеет второй вариант Более часто получаются соотношения следующего вида: $K_1 > K_2$ и $Э_1 < Э_2$ Экономическое сравнение этих вариантов может быть пр[illegible]ено по отра[illegible]вому нормативному с[illegible]у с[illegible]мости допс[illegible]льных капи[illegible]ьных затрат T или отр[illegible]эму коэффициенту сравнительной эффективности E, используя следующие формулы:

$$T = \frac{K_1 - K_2}{Э_2 - Э_1} \text{ или } E = \frac{1}{T} = \frac{Э_2 - Э_1}{K_1 - K_2}. \qquad (9)$$

Более экономичным следует считать первый вариант, если $T \leq 7$ лет или $E \geq 0{,}14$.

При оценке экономичности нескольких вариантов целесообразно пользоваться [23, 24] приведенной стоимостью за определенный [illegible]ок C_i или приведенными величинами ежегодных затрат ΔC_i, рассчитываемых по формулам

$$C_i = EK_i + Э_i \text{ или } \Delta C_i = K_i + TЭ_i. \qquad (10)$$

Несколько сложнее вычисление экономичности разных вариантов станций обработки воды, когда капиталовложение на строительство их производится не единовременно, а постепенно по очередям строительства. В этом случае для сравнения производят [illegible]ведение затрат более поздних лет к начальному времени по-

средством деления их на коэффициент $K_{пр}$ производительного использования капитальных вложений, в котором учитывается возможный средний эффект, который вычисляется по формуле

$$K_{пр} = (1 + E)^t, \qquad (11)$$

где t — период времени между сроками капиталовложений

При выборе технологической схемы очистки воды и аппаратурного оформления необходимо соблюдать требования, обязательные для всех вариантов

очищенная вода должна удовлетворять потребителей в отношении количества и качества;

очистные сооруже[illegible] должны быть удобны в эксплуатации и работать надежно и бесперебойно;

система очистки воды должна обеспе[illegible]ть соблю[illegible]ение действующих технических условий и норм [illegible]ой безопасности с[illegible]итарных и т. д.).

В результате таких технико-экономических сравнений принимается обычно вариант, предусматривающий использование наиболее прогрессивной технологии, обеспечивающей полное соблюдение санитарно технических требований и наименьшую стоимость очистки воды.

При сравнении вариантов следует учитывать также факторы, которые могут оказаться решающими для выбранного варианта, несмотря на его меньшую экономичность [35]:

применяемые материалы, их количество и возможность своевременной доставки;

потребность в рабочей силе и особенно квалифицированной;

сроки строительства и возможность более быстрого ввода в эксплуатацию объекта водоснабжения или обслуживаемого им предприятия, а также заселение жилых кварталов населенного места.

Целесообразно проводить сопоставление технико-экономических показателей проектируемых станций обработки воды с показателями наиболее передовых и экономичных действующих станций, работающих в аналогичных условиях.

Капитальные затраты на строительство объекта водоподготовки определяются по сметной документации или по укрупненным показателям стоимости очистных сооружений для осветления и обесцвечивания воды, станций осветления и умягчения воды, установок для обезжелезивания, фторирования или обесфторивания, хлорирования и аммонизации воды, градирень, станций стабилизационной обработки оборотной воды и других технологических сооружений [35]. Они уточняются при разработке рабочих чертежей, а в отдельных случаях и технического проекта. Фактическая строительная стоимость определяется по исполнительным сметам после окончания строительных работ.

Годовые эксплуатационные затраты, необходимые для сравнения экономичности различных вариантов станций обработки воды, состоят из прямых расходов на обслуживание проектируемых сооружений и отчислений в амортизационный фонд в процентах от

капитальных затрат [35] Они могут быть вычислены по формуле [25, 26]

$$Э = Э_{пр} + \left[\frac{K_1 n_1}{100} + \frac{K_2 n_2}{100} + \frac{K_3 n_3}{100} + \right] = Э_{пр} + \Sigma \frac{K_i n_i}{100}, \quad (12)$$

где $Э_{пр}$ — прямые эксплуатационные расходы;

K_1, K_2, K_3 — строительная стоимость отдельных сооружений;

n_1, n_2 и n_3 — проценты амортизационных отчислений

Прямые эксплуатационные затраты слагаются [35] из сумм, расходуемых на содержание обслуживающего персонала, реагенты, электроэнергию, текущий ремонт и др

Нормы амортизационных отчислений по отдельным сооружениям и об] устанавливаются с целью воспр водства основных средств, т е возобновления оборудования и сооружений после их изн а, а также для капитального ремонта в период эксплуатации стных сооружений

В эксплуатационные затраты необходимо включать также неучтенные расхо по которых из-за мал ичины нецел образен или руд ен (*отопление по ний, содерж е* участков технологических сооружений, мелкие транспортные расходы, прис ние инвентаря и пр) Их принимают в размере 3% от суммы расходов по обеим частям эксплуатационной сметы.

Величина расходов на эксплуатацию определяется приближенно в проектном задании и затем уточняется при разработке технического проекта

Исходя из величины эксплуатационных расходов, находят себестоимость очистки 1 $м^3$ по формуле [23—26]

$$C = \frac{Э}{Q}, \quad (13)$$

где $Q = 365\, q_{ср\ сут}$ — годовой расход воды

Себестоимость обработки воды в проектном задании определяется приближенно и у яется на основании сметы строительства после разработки технического проекта, фактическую себестоимость находят в процессе эксплуатации станций обработки воды.

§ 11. Примеры расчетов производительности станций обработки воды, расхода реагентов и экономики строительства

Пример 1 Определить полную производительность очистных сооружений водопровода с полезной отдачей воды 30 000 $м^3$/*сутки*.

На очис ых ружениях ис ьзуются осветлители; расчетная скорость ф ьтр ния 6 *м/ч* В ответствии с формулой (4) с учетом, что вода после промывки фильтров повторно используется, объем воды, поступающий на фильтры равен

$$q = \frac{30000}{24} \cdot 1{,}03 = 1287{,}5\ м^3/ч.$$

Площадь фильтров при этом должна быть равна

$$\Sigma F = \frac{1287{,}5}{6} = 214{,}6 \ м^2.$$

Производим проверку работы очистных сооружений при форсированном режиме во время использования пожарных расходов воды.

Допустим, что очистные сооружения обслуживают населенный пункт с количеством жителей до 100000, принимаем число одновременных пожаров 2, расход воды на один пожар 35 *л/сек*, длительность тушения пожара 3 *ч* и время пополнения пожарного запаса воды 24 *ч*.

Исходя из этих данных, дополнительный расход воды по формуле (7) равен

$$q_{доп} = \frac{3{,}6 \cdot 2 \cdot 35 \cdot 3}{24} = 31{,}5 \ м^3/ч.$$

Расчетный расход воды, поступающей с насосной станции первого подъема на фильтровальную станцию, по формуле (4) будет равен

$$q_{ст}^{расч} = \frac{1{,}03 \cdot 30\,000}{24} + 31{,}5 = 1287{,}5 + 31{,}5 = 1319 \ м^3/ч.$$

Аварийная скорость фильтрования $v_{авар} = \frac{1319}{214{,}6} = 6{,}15 \ м^3/ч$, т. е. меньше предельно допустимой.

Таким образом, очистные сооружения вполне обеспечивают форсированный режим.

Пример 2. Составить высотную схему очистных сооружений водопровода при самотечном режиме потока воды, состоящих из перегородчатых смесителей, перегородчатых камер хлопьеобразования, горизонтальных отстойников и скорых фильтров, промывка которых производится из бака.

Отметка уровня воды в резервуаре чистой воды +120,00 (на 0,5 *м* выше уровня земли).

Исходя из данных, приведенных на стр. 50, определяем ориентировочно отметки уровней воды в *м* в сооружениях:

На фильтрах	120+0,50+3,00=123,50
В отстойниках	123,50+0,30+0,30=124,10
В камерах хлопьеобразования .	124,10+0,5 =124,60
В начале смесителей . . .	124,60+0,3 +0,5 =125,40

Пример 3. Определить среднегодовую стоимость очистки 1 $м^3$ воды, если годовая подача воды составляет $Q = 40$ млн. $м^3$. Стоимость строительства очистных сооружений $K_1 = 2{,}5$ млн руб., стоимость оборудования $K_2 = 250$ тыс. руб. Прямые эксплуатационные расходы $Э_{пр} = 500$ тыс. руб. в год. Принимая амортизационные отчисления 5% от строительной стоимости станции и 10% от стоимо-

сти установленного в ней оборудования, по формуле (12) определим среднегодовые эксплуатационные затраты на очистку воды

$$Э = 500 + \frac{5 \cdot 2500}{100} + \frac{10 \cdot 250}{100} = 650 \text{ тыс. руб.},$$

откуда по формуле (13) стоимость очистки 1 $м^3$ воды составит

$$C = \frac{650\,000 \cdot 100}{40\,000\,000} = 1{,}62 \text{ коп.}$$

Пример 4. Произвести экономическое сравнение вариантов проектов очистки воды, если в первом варианте строительная стоимость составляет $K_1 = 5\,500$ тыс. руб., а годовые эксплуатационные расходы равны $Э_1 = 290$ тыс. руб.; во втором варианте $K_2 = 4500$ тыс. руб., а $Э_2 = 350$ тыс. руб.

По формуле (9) находим время, в течении которого перерасход на строительстве окупается экономией по эксплуатации.

$$T = \frac{5500 - 4500}{350 - 290} = 16{,}7 \text{ лет.}$$

Такой срок, согласно пояснениям к формуле (9), свидетельствует о малой экономичности первого варианта проекта ($T > 7$ лет).

Кроме того, нормативный коэффициент сравнительной эффективности

$$E = \frac{350 - 290}{5500 - 4500} = 0{,}06 < 0{,}14.$$

Из полученных данных видно, что экономически выгоднее второй вариант проекта.

Раздел II

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ГЕТЕРОФАЗНЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

(Осветление. обесцвечивание. обеззараживание воды)

ГЛАВА III

РЕАГЕНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО

§ 12. Осветление и обесцвечивание воды с применением коагулянтов и флокулянтов

Удаление реагентными методами гетерофазных примесей, обусловливающих цветность и мутность природных вод, основано на применении *коагулянтов* — солей слабых оснований многовалентных металлов и сильных кислот. Обычно для этих целей используются сульфаты и хлориды алюминия или железа; при их растворении в воде происходит гидролиз. Взаимодействуя с гидроксильными ионами, содержащимися в воде, в результате электролитической диссоциации последней, эти соли образуют труднорастворимые гидроокиси. Присутствующие в природных водах бикарбонаты связывают возникающие при гидролизе кислоты в малодиссоциированную углекислоту, и процесс протекает необратимо. В общем виде гидролиз ионов трехвалентных металлов в присутствии бикарбонат-ионов может быть представлен уравнением

$$Me^{3+} + 3H_2O + 3HCO_3^- = Me(OH)_3\downarrow + H_2CO_3.$$

Стехиометрические уравнения гидролиза для применяемых в технологии очистки воды коагулянтов следующие:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 + 6H_2CO_3;$$

$$2FeCl_3 + 3Ca(HCO_3)_2 + 6H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaCl_2 + 6H_2CO_3;$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 + 6H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaSO_5 + 6H_2CO_3;$$

$$FeSO_4 + Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O = Fe(OH)_2\downarrow + CaSO_4 + 2H_2CO_3.$$

Образующийся в последней реакции гидрат закиси железа заметно растворим в воде и диссоциирован. Поэтому равновесие гидролиза сильно смещено в левую сторону уравнения, однако под действием растворенного в воде кислорода гидрат закиси окисляется в гидрат окиси [1]:

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightleftarrows 4Fe(OH)_3\downarrow.$$

---

[1] Практически гидролиз всех солей железа заканчивается образованием водной окиси железа FeO(OH), так как гидроокись сразу же дегидратируется $Fe(OH)_3 = FeO(OH) + H_2O$.

Суммарно гидролиз железного купороса с последующим окислением можно представить в виде следующей реакции:

$$4FeSO_4+4Ca(HCO_3)_2+O_2+10H_2O=4Fe(OH)_3\downarrow+4CaSO_4+8H_2CO_3.$$

Из приведенных уравнений видно, что при гидролизе солей-коагулянтов, наряду с образованием труднорастворимых гидроокисей и малодиссоциированной углекислоты, происходит переход карбонатной жесткости в некарбонатную (в уравнениях она представлена кальциевыми солями). Одновременно снижается щелочность воды, в основном обусловленная бикарбонатными солями, которые с присутствующей углекислотой образуют буферную систему с pH, близким к 7.

Используя приведенные уравнения реакций, можно рассчитать, что 1 *мг-экв* щелочности воды соответствует 57 *мг* $Al_2(SO_4)_3$, 54 *мг* $FeCl_3$, 68 *мг* $Fe_2(SO_4)_3$ и 77 *мг* $FeSO_4$. Эти эквивалентные веса безводных солей применяются при пересчете дозировок коагулянтов и расчете доз подщелачивающих реагентов. Характерно, что для сернокислого алюминия, хлорного железа и железного купороса (в расчете на трехвалентную окись его эквивалентный вес равен 51 *мг*) эквивалентные веса практически очень близки.

В тех случаях, когда при расчете окажется, что буферной емкости бикарбонатной системы природной воды недостаточно для взаимодействия с вводимыми дозами коагулянта, необходимо предусматривать ее *подщелачивание* известью, содой, едким натром и др. В приведенных выше уравнениях бикарбонат кальция следует заменить CaO, Na_2CO_3 или NaOH. Эквивалентные веса этих подщелачивающих веществ соответственно равны 28, 53 и 40; они учтены в нижеприведенной формуле для расчета их доз при подщелачивании воды.

Процесс реагентного обесцвечивания природной воды протекает следующим образом. При добавлении к очищаемой воде солей-коагулянтов в течение первых 30 *сек* происходит их гидролиз и образуются коллоидные гидроокиси алюминия или железа, обладающие огромной активной поверхностью. Коллоидные окрашенные примеси, содержащиеся в воде, адсорбируются на поверхности частиц гидроокисей.

Коагуляция гидроокиси алюминия или железа, а также связанное с этим выпадение их в осадок совместно с адсорбированными на их поверхности примесями происходит под действием растворенных в воде электролитов. Из приведенного описания механизма процесса обесцвечивания следует, что коагуляции подвергаются не коллоидные примеси воды, а образующиеся при гидролизе коагулянтов гидроокиси. Сама же очистка воды происходит в результате адсорбции различных коллоидных и высокомолекулярных примесей на поверхности гидроокисей. Процесс коагуляции гидроокисей фактически приводит к удалению отработанного сорбента из очищенной воды [36].

Осветление природных вод определяется свойствами присутствующих в них взвешенных веществ. Эффективное хлопьеобразование

наступает лишь при добавлении коагулянта, образующего гидроокись, к развитой поверхности которой прилипают в результате адгезии частицы взвешенных веществ [37] Большое значение имеет также ортокинетическая коагуляция, т е. захватывание мути сеткой оседающей гидроокиси

Для инт ификации процесса хлопьеобразо при очистке воды коаг нтами применяют *флокулянты,* ве , способствующие образованию крупных, прочных и быстро оседающих хлопьев. *Из таких веществ наибольшее распространение получили* активная кремнекислота (АК) и полиакриламид (ПАА).

Активная кремнекислота представляет собой коллоидный раствор водной двуокиси кремния, получаемый путем частичной или полной нейтрализации щелочности в растворе силиката натрия *Молекулы кремнекислоты, конденсируясь, выделяются из раствора* в виде отрицательно заряженных коллоидных частиц Действие их основано на упрочнении структурированных систем, возникающих при обработке воды коагулянтами АК приготовляют на месте непосредственно перед ее использованием. Исходным сырьем яв*ляет*ся *растворимое стекло и активатор* В *качестве последнего* прим ют кислоты, кислые соли, соли сильных кислот и слабых оснований, газы, дающие в растворе кислоты, и др. реагенты [14]:

хлор

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O + Cl_2 + H_2O \rightarrow m[SiO_2]\, y H_2O + NaOCl + NaCl.$$

углекислый (или сернистый) газ

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O + CO_2 + H_2O \rightarrow m[SiO_2]\, y H_2O + Na_2CO_3;$$

серная (или соляная) кислота

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O + H_2SO_4 \xrightarrow{H_2O} m[SiO_2]\, y H_2O + Na_2SO_4;$$

кремнефтористый натрий

$$2(Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O) + Na_2SiF_6 \xrightarrow{H_2O} (2m+1)[SiO_2]\, y H_2O + 6NaF;$$

бикарбонат натрия

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O + 2NaHCO_3 \xrightarrow{H_2O} m[SiO_2]\, y H_2O + 2Na_2CO_3;$$

электролиз по авт св. № 204928

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} \underset{\text{анолит}}{m[SiO_2] \cdot y H_2O} + \underset{\text{католит}}{NaOH},$$

сульфат алюминия

$$3(Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O) + Al_2(SO_4)_3 \xrightarrow{H_2O} n[SiO_2]\, y H_2O + [Al_2O_3 (m-n) SiO_2]\, z H_2O + 3Na_2SO_4;$$

оксихлорид алюминия

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot x H_2O + 2Al_2(OH)_5Cl \xrightarrow{H_2O} \left[Al_2O_3 \frac{m}{2} SiO_2\right] y H_2O + 2NaCl;$$

алюминат натрия

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot xH_2O + NaAlO_2 \xrightarrow{H_2O} [AlO_2 mSiO_2] yH_2O + 3NaOH;$$

сульфат аммония

$$Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot xH_2O + (NH_4)_2SO_4 \xrightarrow{H_2O} m[SiO_2] yH_2O + 2NH_4OH + Na_2SO_4$$

Полиакриламид — растворимый в воде полимер, со, жащий в ⁻оей цепочной молекуле ион ⁻ ле пы При ег иссоциа- и образуется высокомолеку. , і п валентный а он и много простых маловалентных катионов, поэтому такие вещества на- эт полиэлектролитами Действие ПАА об тся а рб- . его молекул на хлопьях гидроокиси, образу ся при ролизе коагулянтов. Из-за вытянутой формы молекулы, адсс ция происходит в разных местах нес ькими частицами ги си, в результате чего последние ов ваются связанными вмес [15].

Как известно, окраска боль ства природных вод обусловлена присутствием в них органических веществ гумусового происхождения Поэтому час ное, а ино а и пс е обе ечивание воды может быть дост уто прим нием *слител* — хлора, озона и др. Исследование проце обесцвечивания воды, окрашенной комолекулярными і выми и, под ствием показало, что про е его окислени содержащихся в составе этих ве ств фенольных гидроокислов с образованием карб ильных с і Этим объясняется и улучше- ле коагулирования при перм рировании воды, т. к. замена более гидратированных гидроксильных групп менее гидратированными карбоксильными снижает защитные йства гумуса по отношению к гидрофобным коллоидам, что способствует ускорению их коагуляции и осаждения Количество хлора, необходимое для об цвечивания воды, определяется фракционным составом гумуса. с увеличением содержания низкомолекулярных креновых кислот в составе гумуса расход хлора возрастает [38]

§ 13. Расчетные дозы реагентов и места их ввода в обрабатываемую воду

Дозы реагентов должны устанавливаться на основании данных технологических исследований, осуществляемых путем пробной очистки исходной воды в разные периоды года, а также на основании опыта эксплуатации очистных сооружений, работающих на воде аналогичного качества [21].

Для о овочных расчетов при проектировании доза коагулянта (о сернокислого алюминия, хлорного железа или железного купороса) в *мг/л* может быть определена для цветных вод по формуле

$$Д_к = 4\sqrt{Ц}, \qquad (14)$$

где $Ц$ — цветность воды в *град.*

Для обработки мутных вод доза коагулянта в *мг/л* определяется следующим образом:

Взвешенных веществ	100 *мг/л*	25—35	Взвешенных веществ	1000 »	60—90
То же	200 »	30—45	»	1400 »	65—105
»	400 »	40—60	»	1800 »	75—115
»	600 »	45—70	»	2200 »	80—125
»	800 »	55—80	»	2500 »	90—130

Меньшие дозы применяются в водах, содержащих грубодисперсную взвесь; при одновременном наличии окрашенных и взвешенных веществ принимается большая из доз, вычисленная по мутности или цветности.

Предложен также ряд других уравнений, устанавливающих зависимость дозы коагулянта от величины загрязнения воды и ряда других факторов, влияющих на процесс ее очистки [39—42].

Для интенсификации процесса коагуляции согласно исследованиям рекомендуется [21] применять в качестве флокулянт полиакриламид (ПАА) и активную кремнекислоту (АК). Доза зависит от места ввода, типа и режима работы сооружений, физико-химических свойств обрабатываемой воды. Для ориентировочных расчетов принимают следующие величины:

а) при подаче флокулянтов перед отстойниками и осветлителями со взвешенным осадком доза безводного полиакриламида при содержании взвешенных веществ от 10000 до 500 *мг/л* равна 1,0—0,2 *мг/л*, при содержании взвешенных веществ от 500 до 100 *мг/л* и цветности воды 20—60 *град* она составляет 0,5—0,25 *мг/л*, при содержании взвешенных веществ от 100 до 10 *мг/л* и цветности воды 30—100 *град* — 0,8—0,4 *мг/л*, при содержании взвешенных веществ 10 *мг/л* и цветности воды 50 *град* — 2,0—1,0 *мг/л*

Доза активной кремнекислоты (в пересчете на SiO_2) для воды с цветностью 100 *град* и содержанием взвешенных веществ до 15 *мг/л* при температуре выше 5—7°С составляет 2—3 *мг/л*, при температуре ниже 5—7°С — 3—5 *мг/л*,

б) при вводе перед фильтрами доза ПАА равна 0,01—0,1 *мг/л*, доза АК — 0,05—0,5 *мг/л*;

в) при вводе перед контактными осветлителями и прямоточными фильтрами доза ПАА составляет 0,2—0,6 *мг/л*, доза АК — 1,0—3,0 *мг/л*

При расчете дозы извести, едкого натра или соды для подщелачивания воды при коагуляции исходят из необходимого повышения щелочности воды. Дозы подщелачивающих реагентов *мг/л* будут при этом равны

$$Д_щ = (0{,}0178Д_к - Щ_0 + 1)К, \qquad (15)$$

где $Щ_0$ — щелочность природной воды в *мг-экв/л*;

1 — избыточная щелочность воды, необходимая для нормального протекания процесса коагуляции;

0,0178 — щелочность воды, расходуемая на реакцию с 1 *мг/л* безводного сернокислого алюминия

К — для извести — 28, едкого натра — 40, соды — 53.

Если величина $Д_{щ}$ получается отрицательной, то подщелачивать воду не нужно

При расчете процессов обработки хлорсодержащими реагентами дозы их (по активному хлору) принимают для предварительного хлорирования, а также для улучшения коагуляции, обесцвечивания и обеззараживания равными 3—5 *мг/л*. В случае появления в обрабатываемой воде следов фенола для устранения хлорфенольных запахов и привкусов в нее вместо аммиака или аммонийных солей перед вводом хлорсодержащих реагентов. При хлорировании с аммонизацией соотношение дозы хлора и аммиака принимается от 1 : 4 до 1 : 10.

Дозировка реагентов, применяемых для специальных методов обработки воды (удаление привкусов и запахов, стабилизация, фторирование и др.), а также места их ввода по технологической схеме очистных сооружений описаны в III разделе.

Реагенты подают в воду так, чтобы очистка воды заканчивалась в проектируемом смесительном оборудовании. Поэтому их обычно вводят в начале очистной и быстро перемешивают со всей массой воды. Исключение составляют реагенты, предназначенные для устранения привкусов бактериального загрязнения, защиты трубопроводов от коррозии и т. д. В этих случаях реагенты, не содержащие взвешенных веществ и не образующие их при взаимодействии с солевым составом воды, можно вводить в очищенную воду.

Коагулянты подают в воду до ее поступления на очистные сооружения или добавляют в первом же сооружении-смесителе. При этом их смешивают либо со всей массой воды, поступающей на очистку, либо (при небольшом количестве загрязнений) с частью обрабатываемой воды при последующем смешении обоих потоков (концентрированная коагуляция); применяется также предварительная гидролизация или основные соли. При малом количестве загрязнений в природной воде ввод коагулянтов можно осуществлять периодически [43—45].

Флокулянты вводят через 2—4 *мин* после добавления коагулянта, обычно в конце смесителя или начале камер хлопьеобразования.

Подщелачивающие реагенты (известковое молоко, меловая суспензия), содержащие значительное количество взвешенных веществ, подают воду в те места, куда подают и коагулянты, до и после их добавления в зависимости от принятой на основании исследований технологии очистки воды. Одновременный ввод коагулянтов и подщелачивающих реагентов не рекомендуется. В высокоцветные воды добавляют подщелачивающие реагенты после осаждения из воды основной массы гидроокисей, т. е. в конце отстойников [46]. Такие реагенты, как известковая вода, растворы соды и едкого натра, не содержащие взвешенных веществ, могут подаваться в очищенную воду в дозах, не вызывающих ее умягчения.

Хлорсодержащие реагенты при предварительном хлорировании воды можно вводить в ковш, водоприемный колодец, всасывающую или напорную линию насосной станции первого подъема или в смеситель [47], а при обеззараживании воды — в коллектор или резервуар чистой воды, а также во всасывающий трубопровод насосной станции второго подъема.

Аммонизация воды осуществляется в тех же местах, где производится хлорирование. Аммиак добавляют до или после введения хлора в зависимости от технологических показателей обрабатываемой воды, при наличии в ней фенолов, аммиак подается раньше хлора. Дехлорирующие реагенты вводят в очищенную воду.

§ 14. Оборудование для приготовления растворов реагентов

Очистку воды обычно производят твердыми реагентами, которые подают в очищенную воду в виде измельченного порошка (сухое дозирование) либо в виде растворов определенной концентрации (мокрое дозирование).

Сухое дозирование до настоящего времени не получило распространения на наших водопроводах.

В комплекс очистных сооружений водопроводов при мокром дозировании реагентов входят специальные установки для приготовления и хранения растворов. К ним относятся растворные и расходные баки различных конструкций. Они могут быть совмещенной конструкции, когда в расходном баке помещается меньший по объему растворный бак, или в виде отдельных взаимосвязанных баков.

Перемешивают реагенты с водой в растворных баках путем барботажа, механическими мешалками, а в малых установках — вручную. В тех случаях, когда реагенты приготовляют в виде суспензий, их также перемешивают в расходных баках.

В типовых самотечных сооружениях водопроводов место ввода воды обычно находится на значительной высоте над уровнем земли и поэтому возможны три варианты высотного расположения растворных и расходных баков.

По первому варианту растворные и расходные баки размещаются в верхних этажах здания очистных сооружений, а реагенты к ним подаются подъемником. Растворы реагентов через дозирующие устройства самотеком поступают в очищаемую воду.

По второму варианту растворные баки помещаются внизу, вблизи складов реагентов, а расходные или промежуточные баки в верхних этажах. Растворы реагентов перекачиваются в верхние баки кислотоупорными насосами и после дозирующих устройств поступают самотеком в воду.

По третьему варианту, наиболее предпочтительному, растворные и расходные баки помещаются в нижних этажах здания очистных сооружений. Растворы реагентов при помощи напорных дозирующих устройств подаются в трубу, подводящую воду на очистные сооружения.

Растворы коагулянтов готовят в растворных баках, откуда их перепускают самотеком или перекачивают насосом в расходные баки, где разбавляют до рабочей концентрации, или в емкости-хранилища крепкого раствора. Для интенсификации процесса растворения коагулянта и разбавления его концентрированных растворов перемешивание в баках производят с помощью сжатого

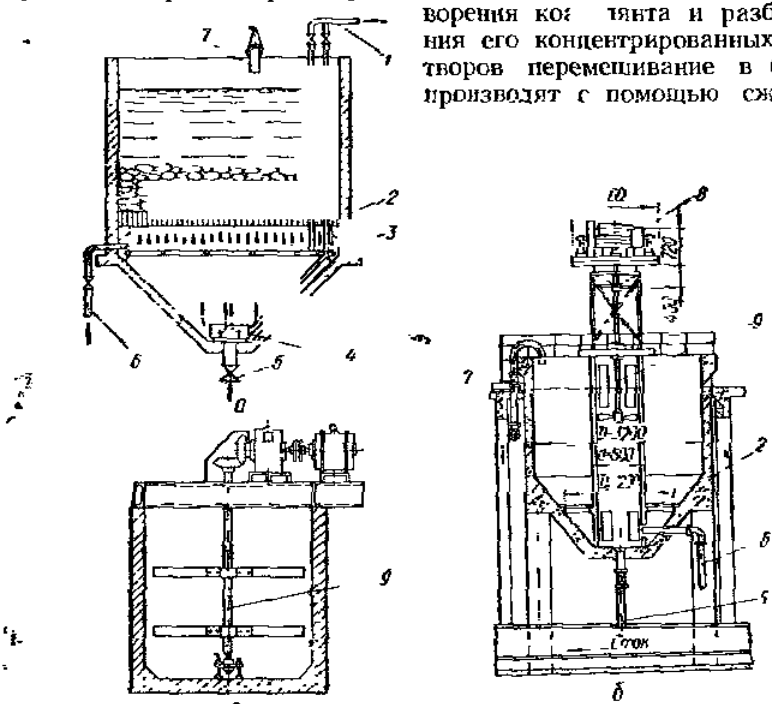


Рис 4 Схема баков для растворения коагулянтов

а — для кускового продукта, *б* — то же с перемешиванием пропеллерной мешалкой, *в* — для зернистого продукта с перемешиванием лопастной мешалкой, *1* — подача сжатого воздуха, *2* — колосниковая решетка *3, 4* — верхняя и нижняя распределительные системы для воздуха, *5* — выпуск осадка; *6* — отбор раствора, *7* — подача воды; *8* — привод от электродвигателя; *9* — мешалка

воздуха, допускается применение для этих целей механических мешалок или циркуляционных нас[illegible]ис. 4).

Расход сжатого воздуха в ра[illegible]ных баках принимают равным 8—10 *л/м²·сек*, в расходных баках — 3—5 *л/м²·сек* Воздух для барботирования распределяется по площади баков при помощи дырчатых труб или шлан[illegible] из кислотостойких материалов. Диаметр направленных вниз [illegible]ерстий в стенках труб должен быть *не менее 3—4 мм, скорость выхода воздуха из отверстий должна* составлять 20—30 *м/сек*, а скорость движения его в трубах — 10—15 *м/сек*

При механическом перемешивании раствора мешалкой число оборотов должно быть от 20 до 30 в 1 *мин*, площадь лопастей при-

нимают равной 0,1—0,2 $м^2$ на 1 $м^3$ объема раствора в баке. Мощность двигателя мешалки N в *квт* подсчитывается по формуле

$$N = \frac{zc\gamma\omega^3 h}{\eta 400g}(R^4 - r^4), \qquad (16)$$

где z — число лопастей мешалки;

c — коэффициент сопротивления лопасти мешалки, принимается равным 0,2—0,5;

γ — плотность раствора в $кг/м^3$;

ω — угловая скорость мешалки, равная $\frac{\pi n}{30}$ (n — число оборотов мешалки в *мин*);

h — высота лопасти в *м*;

η — коэффициент полезного действия передаточного механизма и редуктора;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 $м/сек^2$;

R и r — расстояния от оси мешалки до начала и конца лопасти в *м*.

Расчетная емкость растворного бака $W_р$ в $м^3$ определяется по формуле

$$W_р = \frac{qnД_к}{10\,000 b_р \gamma}, \qquad (17)$$

где q — расчетный расход обрабатываемой воды в $м^3/ч$;

n — число часов, затрачиваемых на полный цикл приготовления раствора коагулянта (обычно 10—12 *ч*). Для ускорения цикла используют воду с температурой 30°С, а также дробят крупные куски коагулянта;

$Д_к$ — максимальная расчетная доза коагулянта в пересчете на безводный продукт в $мг/л$;

$b_р$ — концентрация раствора к концу растворения в проц., принимается в пределах 10—20% по безводному продукту;

γ — плотность раствора, в расчетах обычно принимается равной 1 $т/м^3$.

Емкость расходного бака W в $м^3$ находят, используя соотношение

$$W = \frac{W_р b_р}{b}, \qquad (18)$$

где b — концентрация рабочего раствора коагулянта в проц., принимается в пределах 4—10% в расчете на безводный продукт.

Количество расходных баков должно быть не менее двух. Количество же растворных баков определяют, исходя из способа доставки, вида коагулянта и времени его растворения. Баки необходимо проектировать с учетом использования для обработки воды как очищенного, так и неочищенного коагулянтов.

Днища растворных баков коагулянта должны иметь пирамидальную форму с углом наклона 45—50° к горизонтали (см. рис. 4, *а*);

сброс осадка из них производится по трубопроводам диаметром не менее 150 *мм*. Съемные колосниковые решетки этих баков для кускового продукта должны иметь прозоры порядка 10—15 *мм*; в случае порошкообразных коагулянтов на решетки необходимо укладывать сетки с прозором 1 *мм*. Вверху по периметру баков предусматривается площадка для обслуживающего персонала.

Днища расходных баков должны иметь уклон не менее 0,05 к сбросному трубопроводу (диаметр не менее 100 *мм*). Трубопровод, отводящий готовый раствор из расходных баков, должен располагаться выше дна бака на 100—200 *мм*. Если же применяется неочищенный коагулянт, то забор раствора из баков рекомендуется производить из верхних слоев по шлангу при помощи поплавка Внутренние поверхности баков должны быть защищены кислотостойкими материалами или покрытиями. Допускается растворение коагулянта непосредственно в расходных баках, оборудованных для этого колосниковой решеткой или ящиком с перфорированным дном и стенками, а также системой для перемешивания раствора сжатым воздухом или мешалкой.

Если в качестве коагулянта используют хлорное железо, бочки с ним помещают на колосниковую решетку, расположенную вверху растворного бака, находящегося в закрытом боксе. При этом предусматривают, чтобы обслуживающий персонал, находясь снаружи, мог вымывать коагулянт струей воды из брандспойта; боксы должны иметь вытяжную вентиляцию. Растворные и расходные баки для коагулянта следует размещать на первом этаже рядом со складом. Растворно-расходный железобетонный бак с применением сжатого воздуха для размешивания приведен на рис. 5.

Установка несовмещенных растворных и расходных баков с перемешиванием при помощи сжатого воздуха приведена на рис. 6.

При мокром хранении концентрированный раствор коагулянта приготовляют в растворных баках (рис. 7), из которых он кислотоупорными насосами или эжекторами по винипластовым напорным трубам (или самотеком) перекачивается в резервуары-хранилища, имеющие два отделения, расчитанные на хранение 15—30-суточного запаса [10, 35, 48, 49]. В табл. 20 приведен расчет объема емкостей на 1 *т* товарного продукта.

Возможен также вариант, когда растворные баки являются одновременно и хранилищами насыщенного раствора коагулянта вместе с нерастворившейся частью. По мере отбора раствора баки дополняют водой, и содержимое в них перемешивают барботированием сжатого воздуха (рис. 8).

Резервуары-хранилища на крупных станциях по экономическим соображениям обычно располагают вне здания реагентного хозяйства, но защищают от замерзания раствора. Температура замерзания концентрированных растворов сернокислого алюминия следующая:

Концентрация раствора очищенного коагулянта в проц.	30	35	40	45
Содержание $Al_2(SO_4)_3$ в проц. . . .	15,7	18,2	20,7	21,1
Температура замерзания в *град С* .	—5	—9	—11	—12

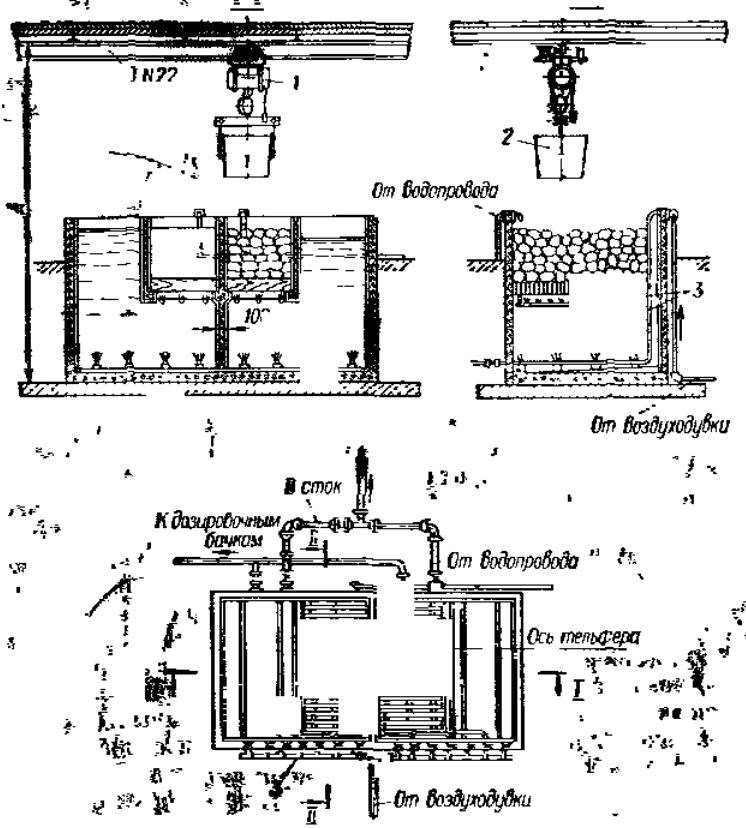


Рис. 5. Совмещенные растворные и расходные баки для приготовления раствора коагулянта

1 — тельфер, 2 — вагонетка, воздухоподводящие трубы с отверстиями

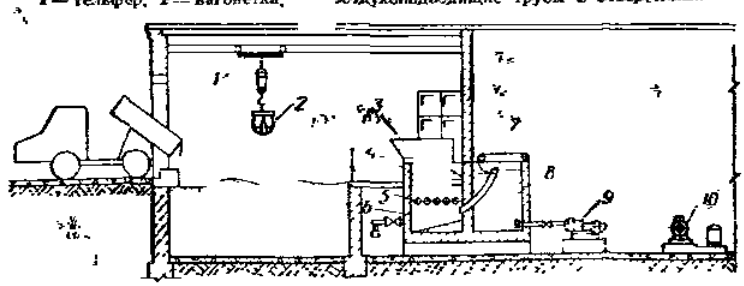


Рис. 6. Установка для растворения коагулянта с отдельными растворными и расходными баками

1 — кран-балка Р-2т, 2 — грейфер емкостью 0,4 м³, 3 — воронка 4 — решетка, 5 — перфорированные трубы для воздуха, 6 — растворный бак, 7 — перепускной рукав, 8 — расходный бак, 9 — насос, 10 — воздуходувка

Таблица 20. *Объемы емкостей для хранения раствора сернокислого алюминия на 1 т товарного продукта*

Показатели	Применяемый на станции коагулянт	
	очищенный	неочищенный
Содержание $Al_2(SO_4)_3$ в товарном продукте в проц	40	33
То же в 1 *т* товарного продукта в *кг*	400	330
тучаемого раствора 18% ой ции в пересчете на $Al_2(SO_4)_3$	2,22	1,84
получ его осадка при его ление в 2,25 раза в $м^3$	0,005	0,68
Суммарный объем раствора и осадка в $м^3$	2,23	2,52
Количество потребляемой воды для приготовления коагулянта в $м^3$	1,5	1,9

В случае применения неочищенного сернокислого алюминия отбор раствора из резервуаров-хранилищ следует производить из верхних слоев раствора, через шланг, свободный конец которого нежестко соединен с зом поплавка. Внутренние стенки резервуа- в хранилищ и растворных баков лжны быть защищены от кор- родирующего действия концентри- твора, а также от уском коагулянта, сбрасываемого на колосники при загрузке баков.

Раствор полиакриламида (ПАА) готовят из очень вязкого технического продукта — 7—8%-ного геля. Поэтому для получения рабочей концентрации ПАА (0,1—1%-ной), применяемой при дозировании, его предварительно диспергируют в воде лопастой мешалкой [50].

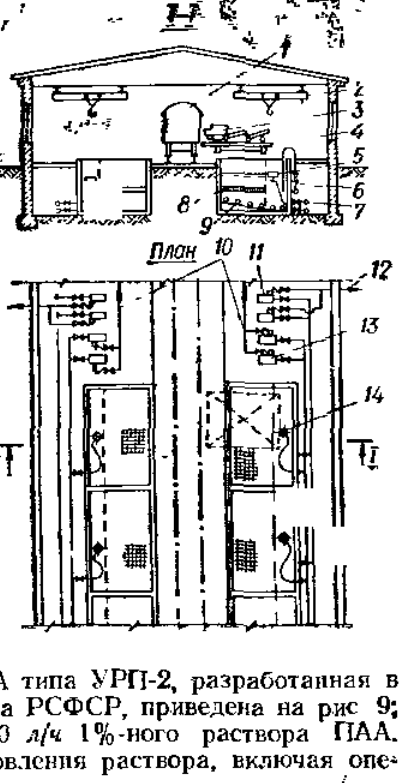


Рис. 7. Блок реагентного хозяйства для мокрого хранения коагулянта:
1 — вагон *2* — к балка, *3* — ра ачик конструкции ЦНИ ПС *4* — сам ная платформа *5* — бак створный *6* здухопровод *7* — осадкопровод, *8* — тка *9* — перфорированные трубы для по воздуха, *10* — подача раствора коагулянта в храни *11* — насосы для откачки осадка, *12* — в осадка *13* — насосы для перекачки рас ора коагулянта, *14* — поплавковое устройство

Установка для растворения ПАА типа УРП-2, разработанная в Академии коммунального хозяйства РСФСР, приведена на рис 9; производительность мешалки — 600 *л/ч* 1%-ного раствора ПАА. Продолжительность цикла приготовления раствора, включая опе-

рации взвешивания, загрузки, размешивания и перекачки его в расходный бак, равна примерно 2 *ч*.

Вращение двухлопастной мешалки осуществляется электродвигателем мощностью 4,5 *квт*, количество оборотов составляет 800—1000 в *мин*. Бак емкостью 1200 *л* рассчитан на разбавление водой

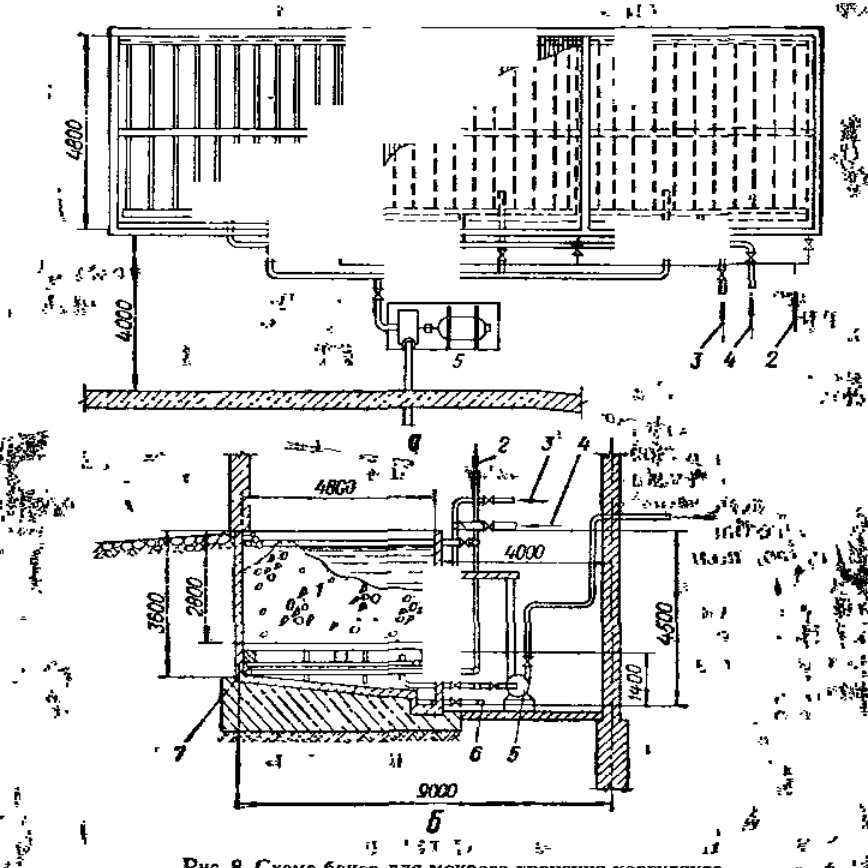


Рис 8. Схема баков для мокрого хранения коагулянта.

а — план; *б* — поперечный разрез. *1* — глинозем кусковой. *2 3 4* — подача воды сжатого воздуха и пара. *5* — насос для перекачки раствора в расходные баки. *6* — сброс в сток. *7* — подача воды для смыва осадка

одной бочки гелеобразного товарного продукта (вес нетто 100—150 *кг*) в течение 25—40 *мин*.

Количество мешалок и объем расходных баков рассчитывают на основании производительности станции, принятой дозы ПАА и концентрации рабочих растворов, используя формулы (16, 17, 18). Следует отметить, что срок хранения растворов ПАА не должен превышать 20 дней. Потери напора при транспортировании по тру-

бам раствора ПАА с 0,5—1%-ной концентрацией определяют так же, как и для воды, но с увеличением этих потерь на 30—50%

Растворы ПАА необходимо дозировать с точностью ±5%. Минимальный интервал времени между вводом в обрабатываемую воду

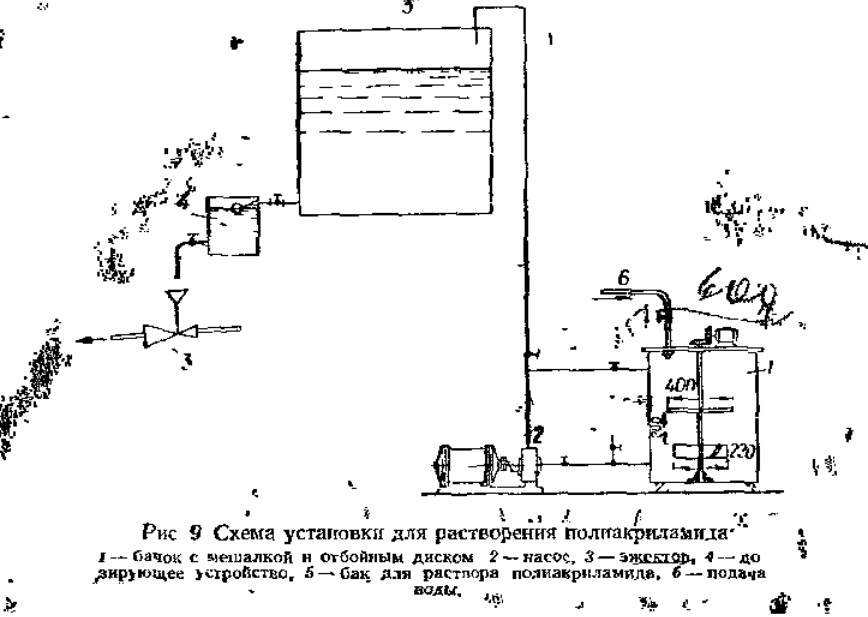


Рис 9 Схема установки для растворения полиакриламида
1 — бачок с мешалкой и отбойным диском 2 — насос, 3 — эжектор, 4 — дозирующее устройство, 5 — бак для раствора полиакриламида, 6 — подача воды.

коагулянта и ПАА должен составлять от 30 (для теплой воды) до 90 *сек*.

Раствор активной кремнекислоты (АК) рекомендуется готовить в установках периодического или непрерывного действия путем обработки раствора жидкого стекла хлором или очищенным серно кислым алюминием — реагентами, о распространенными на водопроводах. При этом ней ация на 70—85% щелочности раст ра обусловлив ние золя АК.

Ус овка для пер приготовления АК хлорированием раствора жидкого стек. (рис 10) состоит из заводской аппаратуры — двух хл на ЛК-10, двух центробежных насосов и двух рабочих эвляемых на месте [14] В каждом из них поочередно приготовляют 1,5%-ный раствор жидкого стекла (по SiO_2) Активация происходит в результате насы ния расти газообразным хлором в эжекторе хлоратора. Одновременно с зс АК в растворе образуется гипохлорит натрия, используемый для хлорирова воды, вследствие чего потери окислительных свойств хлора не происходит Циркуляция раствора через эжектор хлоратора (1—2 *ч*) осуществ ется центр ежным насосом. После полимеризации, протекающей при выдерживании раствора в течение 1—2 *ч*, его разбавляют водой до 0,5%-ной концентрации по SiO_2 и

используют в технологическом процессе. Объем каждого из баков в $м^3$ определяют по формуле

$$W_р = \frac{Д_{АК}\, qT}{K}, \qquad (19)$$

где $Д_{АК}$ — доза АК в $г/м^3$;

q — расход обрабатываемой воды в $м^3/ч$;

T — время приготовления раствора АК (принимается не менее 4 ч);

K — концентрация раствора АК после разбавления в $г/м^3$ (0,5% или 5 000 $г/м^3$).

Разбавленный раствор АК можно дозировать непосредственно из рабочих баков или из специальных дозировочных баков.

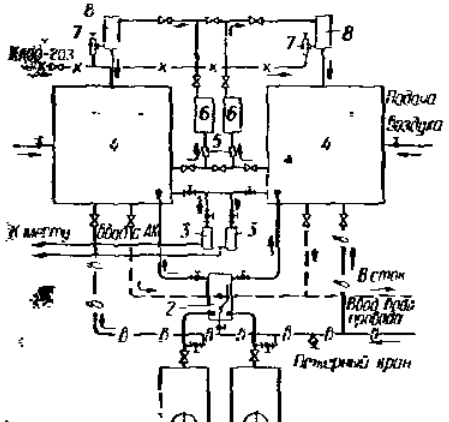


Рис. 10 Схема устройства для порционного приготовления золей кремнекислоты хлорированием жидкого стекла

1 — цистерны хранилища жидкого стекла, *2* — мерник для жидкого стекла, *3* — насосы дозаторы, *4* — баки для активирования, *5* — датчики КИП, *6* — циркуляционные насосы, *7* — микровентили, *8* — хлораторы

Схема аппарата ДАК-10 для непрерывного приготовления раствора АК хлорированием жидкого стекла и последующего дозирования полученного флокулянта в обрабатываемую воду приведена на рис. 11 [14]

Техническая характеристика аппарата ДАК-10 следующая

Производительность по SiO_2 в *кг/ч*	3—11
Точность дозирования золя в проц.	±2,5
Ра[illegible] жидкого стекла в *л/ч*	6,5—30
Ра[illegible] хлора в *кг/ч*	1—5
Ра[illegible]ды в $м^3/ч$	5—8
Да[illegible] воды в *ати*	2,5—6
Потребляемая мощность (220/380 *в*, 50 *гц*) в *квт*	0,3
Габариты аппаратуры в *мм*	1600×600×440
Вес аппарата в *кг*	100

При расчетном расходе раствора АК на обработку воды до 3—5 *кг/ч* (по SiO_2) более экономично применять установки периодического действия, при большем — аппараты ДАК-10.

Растворы АК с применением в качестве актив[ат]ора сернокислого алюминия готовят в установке (рис. 12), сост[оя]щей из аппаратуры заводского изготовления — реактора, полимеризатора, двух дозирующих насосов, эжектора и оборудования, со[зд]анного на месте, — двух баков рабочих растворов и бака гото[вого] продукта.

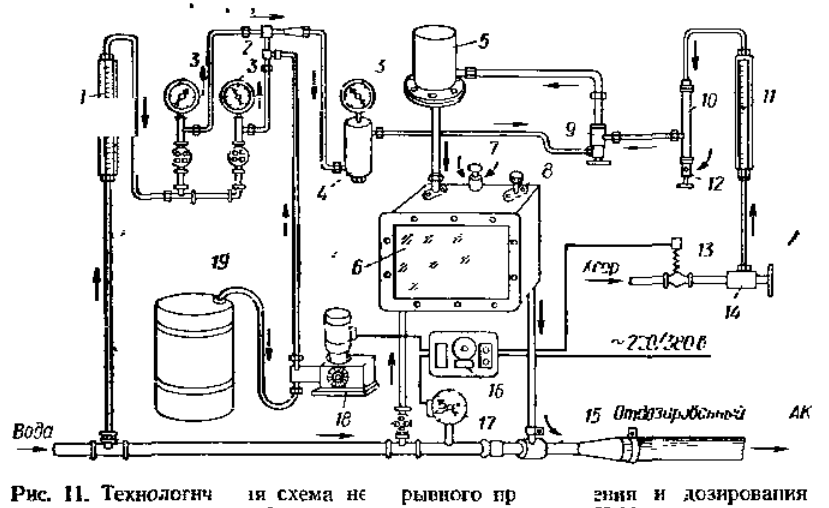


Рис. 11. Технологическая схема не[пре]рывного пр[иго]товления и дозирования ак[ти]вной кремнек[ис]ты — дозат[ор] [А]К 10

1 — ротаметр для воды *2* — блок эжекторов-смесителей для жидкого стекла *3* — манометры, *4* — рессивер-усреднитель *5* — абсорбер *6* — зрельник, *7* — воздушный клапан, *8* — промывное устройство, *9* — струйный смеситель, *10* — клапанная коробка, *11* — ротаметр для хлора *12* — возд[ух] *13* — электромагнитный клапан *14* — регулирующий вентиль, *15* — гидроэлеватор, *16* — аварийная сигнализация *17* — контактный манометр *18* — насос дозатор, *19* — емкость с жидким стеклом

Получение растворов АК производится смешением в реакторе 1,7—2%-ного жидкого стекла (по SiO_2) с 2—3%-ным раствором сернокислого алюминия (в расчете на $Al_2(SO_4)_3$), подаваемых насосами-дозаторами из баков рабочих растворов. Последующее созревание золя АК происходит в полимеризаторе. Приготовленный раствор флокулянта при помощи эжектора разбавляют до 0,5%-ной концентрации (по SiO_2) и переводят в бак готового продукта [10].

При монтаже оборудования расположение реактора, полимеризатора, эжектора и бака готового продукта должно обеспечивать перемещение жидкостей самотеком. Размещение растворных баков непосредственно в рабочих баках или отдельных затворных баках. Объем баков для рабочих растворов принимают равным суточной производительности установки, а объем бака для готового раствора АК — ее 10-часовой производительности. Бак рабочего раствора сернокислого алюминия, а также арматура и трубопроводы от бака к реактору изготовляют из кислотостойких материалов. Отбор рабочих растворов насосами-дозаторами следует производить из верхних слоев через поплавковое устройство.

Предусмотрено [21] три типоразмера установок для приготовления АК производительностью 3,0; 7,5; 12,0 кг/ч (по SiO_2) (табл. 21) При их выборе исходят из расчетной подачи воды на обработку и дозы АК Количество установок должно быть не менее двух (одна рабочая, другая резервная). Если расход АК превышает 12 кг/ч, то применяют не только установок с одним рез зным реактором и насосом-дозатором.

Доз вать раствор АК для обраб...ваемой воды можно непосредственно из полимеризатора или из бака готового продукта

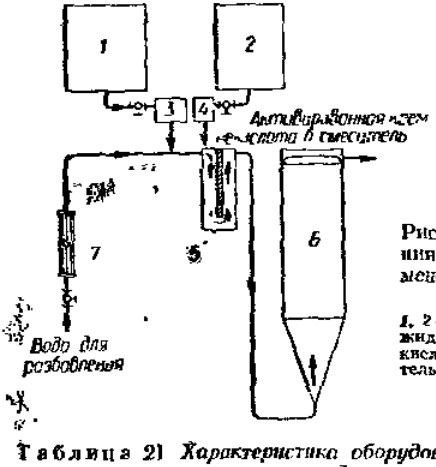


Рис 12 Схема установки для приготовления активированной кремнекислоты с применением раствора сернокислого алюминия или серной кислоты:

1, 2 — баки для приготовления рабочих растворов жидкого стекла и сернокислого алюминия (серной кислоты) *3, 4* — насосы дозаторы *5* — смеситель-реактор, *6* — зрельник полимеризатор, *7* — ротаметр

Таблица 21 *Характеристика оборудования для приготовления растворов АК при активации жидкого стекла сернокислым алюминием*

Производительность установки по SiO_2 в кг/ч	Объем в л		Марка насоса-дозатора	Объем изготовляемых баков в м³		
	реактора	полимеризатора		для рабочего раствора жидкого стекла	для раствора сернокислого алюминия	для готового раствора АК
3,0	10	300	НД 160/10	5,0	3,0	7,0
7,5	25	750	НД 400/10	12,5	7,5	17,5
12,0	40	1200	НД 630/10	20,0	12,0	28,0

Приготовление известкового молока или раствора и выбор технологической схемы известкового хозяйства предусматриваются в зависимости от в и качества товарного продукта, расхода извести, места ее ввода и др. Возможны следующие варианты [21, 48]

1) при централизованном снабжении известковым молоком проектируют схему мокрого хранения, состоящую из устройства для отбора теста, гидравлических мешалок, устройств для очистки известкового молока, расходных баков и дозатора для суспензии (рис 13);

2) при использовании комовой извести предусматривают как сухое, так и мокрое хранение реагентов (рис 14); в первом случае проектируют склад сухого продукта, дробилки, известегасилки, устройс для очистки известкового молока, гидравлические мешалки, расходные баки и дозатор для суспензий; во втором случае — промежуточный склад сухого хранения, резервуары-храни-

лища, устройство для отбора и транспортирования теста, гидравлические мешалки, устройства для очистки известкового молока, дозатор для суспензий (допускается также применение дробилок и ...вестегасилок);

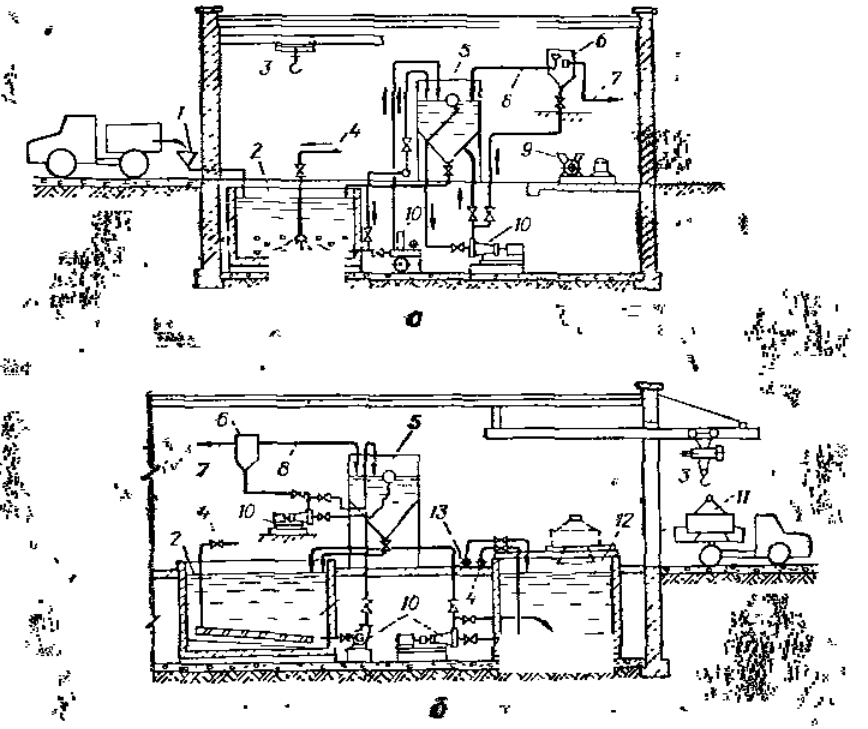


Рис. 13 Схема известкового хозяйства с потреблением привозного известкового молока (а) или теста (б)

1 — воронка для слива 30% ного известкового молока; *2* — бак хранилище для 30% ного известкового молока; *3* — кран ... ш тать с эле ... одом; *4* — трубопроводы для сжатого воздуха; *5* — циркуляц ... мешалка для ... известкового молока; *6* — дозатор; *7* — трубопровод для отдозированного известкового молока; *8* — перелив с дозатора; *9* — воздуходувка; *10* — насосы; *11* — контейнер для 50% ного известкового теста; *12* — бак для приготовления 30% ного известкового молока; *13* — водопровод

3) при производительности станции до 3 тыс *м³/сутки* можно проектировать получение известкового раствора по следующей технологической схеме — склад мокрого хранения, устройство для отбора теста, сатуратор двойного насыщения и дозатор для растворов.

4) при обеспечении систематической поставки порошкообразного товарного продукта ... ообразно проект... ть сухое до...вание извести с испол ... нием схемы, вкл ... цей склад ... кого хранения реагента, дозатор (питатель) порошкообразных веществ и смеситель.

Исходные данные для проектирования складов сухого и мокрого хранения извести приведены в § 8 (см. стр 56).

Комовую известь в реагентном хозяйстве гасят в известегасилках, в которые на 1 *т* товарного продукта подают 7—10 *м*³ воды, желательно подогретой до температуры 60—70°С. В табл. 22 при-

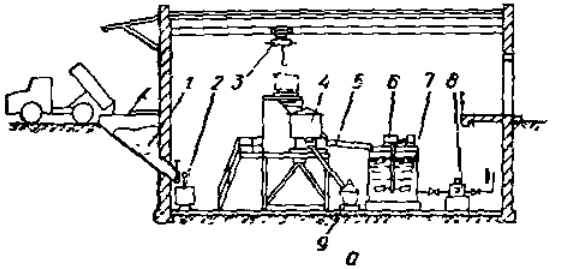


Рис 14 Схема известкового хозяйства с использованием комовой извести при хранении сухом (*а*) и мокром (*б*)

1 — бункер *2* — контейнер *3* — кран-балка или таль с электроприводом, *4* — известегасилка *5* — сливной ящик, *6* — пропеллерная мешалка, *7* — бак для известкового молока, *8* — насос-дозатор, *9* — контейнер для отходов *10* — корзина *11* — бак для известкового теста, *12* — насос, *13* — трубопровод для подачи известкового молока в смеситель.

ведена характеристика выпускаемых в СССР известегасильных аппаратов.

На установках с расходом извести более 30 *т/сутки* рекомендуется ее гасить в барабанных и шаровых мельницах. Их достоинством является отсутствие отходов (недожога и пережога), которые в процессе гашения размалываются, тогда как в обычных известегасителях они сразу идут в отвалы.

В целях удаления из суспензии известкового молока крупных частиц—песка, недожога, пережога и т. д., его до поступления в баки очищают в вертикальных отстойниках или гидроциклонах с внутренним диаметром 75—250 *мм*. Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический резервуар с коническим днищем, диаметр которого рассчитывают так, чтобы скорость восходящего потока в верхнем сечении не превышала 5 *мм/сек*. Расчетная производительность рекомендуемых гидроциклонов при давлении на входе от 0,6 до 2,5 *ат* и внутреннем диаметре 75, 150, 250 *мм* соответственно составляет 3—6, 12—25, 25—50 *м*³/*ч*.

Известковое молоко из известегасительных аппаратов после очистки направляется в баки с гидравлическим перемешиванием, осуществляемым при помощи циркуляционного насоса, применяется также перемешивание сжатым воздухом и лопастными мешал-

Таблица 22. *Техническая характеристика известегасительных аппаратов*

Тип установки / Показатели	С-322 лопастная	Термомеханическая непрерывного действия, барабанная	ЮЗ, бегунковая	Барабанные		Ф[illegible] ные	
				„Микка" периодического действия	Термомеханическая непрерывного действия	АЧ 2	ФИС
Производительность по извести-кипелке в *т/ч*	1	1	1,5—2	1—2	2	1,5—2	4—5
щность электро гателя в *квт*	4,5	2,8	6	2,8—4,5	4,5	7,8	7,8
Габаритные размеры в *мм*:							
длина	1900	3500	2654	5500	6100	1520	1860
ширина	1800	1800	3640	2600	1	1018	1200
высота	1590	1600	2850	3850	;	1792	1290
Вес в *кг*	1250	2000	3935	5500	3450	630	532

ками. Насос, обеспечивающий циркуляцию суспензии известкового молока в гидравлической мешалке, подбирают с расчетом создания скорости восходящего потока в цилиндр ческой части не менее 5 *мм/сек*, развиваемый им напор должен обеспечивать подачу известкового молока к дозирующему аппарату. Суспензия отбирается насосом из верхнего слоя посредством поплавкового устройства и подается в нижнюю часть бака, выполненную в виде конического днища с наклоном в горизонтали [illegible] углом не менее 45°.

В случае перемешивания известкового молока воздухом интенсивность его по[illegible]и должна составлять 8—10 *л/сек·м²*.

В баках с ло[illegible]тными мешалками число оборотов вертикального вала принимается равным не менее 40 в минуту. Расслаивание суспензии известкового молока п[illegible]тся устан[illegible] па[illegible]ей под углом к вертикальной п[illegible], обычно в б[illegible]ке для известкового молока на валу монтируется несколько пар лопастей на различной высоте.

Мощность электродвигателя мешалки может быть определена по формуле (16).

Количество баков для известкового молока следует принимать не менее двух, объем их W в $м^3$ определяют по формуле

$$W = \frac{qnД_и}{10000 b_и \gamma}, \qquad (20)$$

где q — расчетный расход обрабатываемой воды в $м^3/ч$.

n — число часов, на которое заготовляется известковое молоко, принимается равным 6—12,

$Д_и$ — доза извести в пересчете на CaO в $г/м^3$;

$b_и$ — концентрация известкового молока, принимаемая обычно не менее 5%;

γ — объемный вес известкового молока, в расчетах принимается равным 1 $т/м^3$.

Во всех баках для известкового молока необходимо предусматривать выпуск осадка в водосток, для этого днища их должны иметь уклон к одной точке (не менее 0,05), где устанавливается трубопровод диаметром не менее 100 *мм* с запорной арматурой.

На станциях небольшой производительности вместо известкового молока целесообразно приготовлять известковый раствор. Производительность Q_c в $м^3/ч$ сатураторов двойного насыщения, рекомендуемых для изготовления известкового раствора, находят, исходя из расчетного расхода извести и ее растворимости.

$$Q_c = \frac{q_и}{Np}, \qquad (21)$$

где $q_и$ — часовое потребление извести в *г/ч* (по CaO);

N — число сатураторов в установке;

p — растворимость извести при разных температурах в $г/м^3$ (табл. 23).

Объем сатуратора W_c в $м^3$, необходимый для получения расчетного количества насыщенного известкового раствора, вычисляется по формуле

$$W_c = K_1 K_2 Q_c, \qquad (22)$$

где K_1 — коэффициент, зависящий от температуры воды (см. табл. 23),

K_2 — коэффициент, зависящий от отношения кальциевой ($Ж_{Ca}$) и общей ($Ж_{общ}$) жесткости воды; при $Ж_{Ca} : Ж_{общ} > 0{,}7$ принимается равным 1; при $Ж_{Ca} : Ж_{общ} < 0{,}7$ — равным 1,3.

Скорость восходящего потока насыщенного раствора извести в верхнем сечении сатуратора не должна превышать величин, указанных в табл. 23.

Таблица 23. Исходные данные для проектирования сатураторов

Показатели	Температура воды в °С			
	0	10	20	30
Растворимость извести при расчете на CaO в $г/м^3$	1430	1330	1230	1120
Значение коэффициента K_1	7	6	5	4
Допустимая скорость восходящего потока раствора в отстойной части сатуратора в *мм/сек*	0,15	0,2	0,26	0,33

Внутренний диаметр всех напорных трубопроводов для транспортирования известкового молока принимают равным не менее 25 *мм* для очищенного продукта и не менее 50 *мм* для неочищенного, внутренний диаметр самотечных трубопроводов — не менее 50 *мм*. Они должны иметь плавные повороты с радиусами кривизны не менее $5d$, где d — внутренний диаметр трубопровода, а также специальные устройства для прочистки. Скорость движения в трубопроводах известкового молока принимается равной не менее 0,8 *м/сек*. Напорные трубопроводы необходимо укладывать с

уклоном к насосу не менее 0,02, а самотечные с уклоном к выпуску не менее 0,03. Для перекачки известкового молока должны быть предусмотрены специальные насосы, пригодные для работы с суспензиями — фекальные, шламовые, плунжерные и др., их устанавливают под залив без обратных клапанов.

Известковое молоко рекомендуется дозировать устройствами, приспособленными для работы с суспензиями.

На небольших станциях для подготовки может применяться электрохимическая очистка воды от гетерофазных примесей [51, 52, 53, 54, 55]. Она заключается в пропускании обрабатываемой воды между алюминиевыми или железными электродами, питаемыми постоянным током от низковольтных источников (6—12 *в*). В первом случае адсорбированная гидратная пленка образуется на аноде в результате взаимодействия Al^{3+} с OH^- и H_2O, во втором — на аноде в результате химического растворения металла в щелочной среде, возникающей при разряде H^- ионов. Во втором случае на аноде образуется гидрат окиси железа, переходящий в гидрат окиси кислородом, растворенным в воде, или добавляемым в нее хлором.

При электролитическом растворении 1 *г-экв* металла (9 *г* алюминия или 27,9 *г* железа) расход электричества составляет 26,8 *а·ч*; обычно выход по току близок к 100%. Учитывая, что напряжение на алюминиевых электродах должно быть не менее 4 *в*, а на железных — 3 *в*, теоретический расход электроэнергии для анодного растворения 1 *г* алюминия составляет примерно 12 *вт·ч* и 1 *г* железа — 3 *вт·ч*. Следует иметь в виду, что 1 *г* металлического алюминия эквивалентен 6,35 *г* сульфата алюминия, а 1 *г* металлического железа — 1,8 *г* хлорного железа.

В целях экономного расходования электроэнергии рекомендуется поддерживать плотность тока на электродах не более 10 *а/м²* (0,1 *а/дм²*), пластины устанавливать на расстоянии 5—20 *мм* и принимать скорость воды в электролизере не менее 0,5 *м/сек*; необходима также периодическая переполюсовка электродов или их вращение. Фактический расход электроэнергии на очистку воды составляет от 80 до 50 *вт·ч/м³*.

Для интенсификации процесса очистки воды от гетерофазных примесей возможно проводить коагуляцию под током [51, 52]. В этом случае воду, обработанную коагулянтом, пропускают через электролизер с алюминиевыми электродами, питаемыми постоянным или переменным током. Расход электроэнергии в данном случае не превышает 50 *вт·ч/м³*, а экономия коагулянта составляет 25—40%.

Имеются сведения об улучшении процесса коагуляции при предварительном пропускании воды через магнитное поле [56].

§ 15. Примеры расчетов реагентных баков

Пример 1. Определить расход сернокислого глинозема и извести на обработку воды (производительность см. § 11 пример 1), если мутность ее достигает 100 *мг/л*, а щелочность равна 1,0 *мг-экв/л*.

По данным, приведенным на стр. 72 доза сернокислого глинозема в пересчете на безводный $Al_2(SO_4)_3$ составит 35 *мг/л*, доза извести — по формуле (15)

$$Д_и = (0{,}178 \cdot 35 \quad 1 + 1)\,28 = 16{,}8 \ мг/л.$$

Если допустить, что для очистки воды используется технический сернокислый глинозем, который содержит примерно $^1/_3$ $Al_2(SO_4)_3$, то его доза будет равна 105 *мг/л* или *г/м*³ и суточный расход составит

$$\frac{105 \cdot 1287.5 \cdot 24}{10^6} = 1{,}05 \ т$$

Пример 2. Определить размеры несовмещенных расходных и растворных баков (перемешивание осуществляется воздухом) для станции осветления и обесцвечивания воды с горизонтальными отстойниками полезной часовой производительностью 4000 *м*³. Расчетная доза равна 45 *мг/л*. В качестве коагулянта применяют сернокислый глинозем с содержанием 30% $Al_2(SO_4)_3$. Число часов, затрачиваемых на полный цикл приготовления раствора коагулянта, равно 10. Концентрация раствора к концу растворения — 10%; концентрация рабочего раствора коагулянта — 5% (в расчете на безводный продукт). Плотность раствора коагулянта принята $\gamma = 1$ *т/м*³. По формуле (4) объем воды, поступающей на очистку, с учетом расхода на собственные нужды равен

$$4000 \quad 1{,}03 = 4120 \ м^3/ч.$$

Расчетная емкость растворных баков по формуле (17) определяется

$$W_р = \frac{45 \quad 4120 \cdot 10}{10000 \cdot 10 \quad 1} = 18{,}5 \ м^3.$$

Емкость расходных баков находим, используя соотношение (18)

$$W = \frac{18{,}5 \cdot 10}{5} = 37 \ м^3.$$

Принимаем количество баков 3. При этом емкость одного растворного бака составит 6,2 *м*³, одного расходного бака — 12,3 *м*³.

Габариты баков принимаем следующие: для растворного бака площадь решетки равна 5 *м*², полезная высота загрузки 1,25 *м*, для расходного бака площадь дна составляет 6 *м*², полезная высота слоя раствора 2,05 *м*.

Пример 3. Определить емкость бака для приготовления известкового молока при расчетном расходе подлежащей осветлению и обесцвечиванию воды 2 000 *м*³/*ч*, максимальной дозе сернокислого глинозема $Д_к = 40$ *мг/л* $Al_2(SO_4)_3$, естественной щелочности воды в источнике $Щ_0 = 1{,}0$ *мг-экв/л*, числе часов, на которое заготовляется раствор $n = 12$, концентрации известкового молока $b_и = 5\%$, объемном весе известкового молока $\gamma \approx 1$ *т/м*³.

По формуле (15) доза извести равна

$$Д_и = (0{,}0178 \quad 40 - 1{,}0 + 1{,}0)\,28 = 20 \ мг/л.$$

При содержании CaO в извести 50% практическая ее доза будет

$$20 : 0{,}5 = 40 \ мг/л.$$

Емкость бака для известкового молока по формуле (20) будет равна

$$W = \frac{2000 \cdot 12 \quad 40}{10000 \cdot 5 \quad 1} = 19{,}2 \ м^3.$$

ГЛАВА IV

СМЕСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ВОЗДУХООТДЕЛИТЕЛИ

§ 16. Назначение и типы смесительных устройств

Смесительные устройства предназначены для быстрого и равномерного распределения реагентов в обрабатываемой воде, что одимо для н ьного я проц оды. Дол- быть предусмотрена возможность последовательного ввода агентов с соблюдением необходимых интервалов времени между подачей. Смешение реагентов в воде должно быть закончено в ение 1—2 *мин* при мокром и не более 3 *мин* при сухом дозировании реагентов Для эффективного смешения реагентов с обрабатываемой водой необходимо обеспечить турбулентное движение ее потока

Смесительные устройства по принципу их действия могут быть разделены на два основных типа:

гидравлические, в которых турбулентный поток создается сужениями или другими препятствиями;

механические, в которых турбулизация потока достигается вращением лопастей или пропеллера электродвигателем.

К рекомендованным для применения открытым гидравлическим смесителям относятся дырчатые, перегородчатые, коридорные, вихревые и др Допустимо смешение реагентов с водой в напорных трубах первого подъема и трубопроводах В последнем случае разно устанавливать за ятые смесительные устройства гидравлического типа — шайбы, вставки Вентури и др

Ме дители обеспечивают достаточно б и полно е реаг с водой неза имо от к ия ее расхода, тогда как гидравлические смесители при расходах, ньших расчетных, не обеспечивают удов. ительн смешения. Однако гидравличе. е смесители, ввиду простоты конструкции и удобства в эксплуатации, находят широкое распространение на станциях обр тки воды. Применение механических смесителей связано с повышенными затратами электроэнергии и требует соответствующего вания Смешение воды с реагентами в насосах, подающих воду на очистные сооружения, можно рассматривать как вариант механического смесителя.

Выбор типа смесителя должен обосновываться конструктивными соображениями и компоновкой технологических сооружений станции с учетом ее производительности и метода обработки воды.

В случае использования реагентов в виде суспензий, рекомендуется применять смесители с вертикальным потоком воды.

Ре е смесители сматривать нецелесообразно, рациональ... ...ограничиться у... ...твом об... ...дных линий.

Смесители открытого типа оборудуют переливами, а также трубопроводами для выпуска воды и осадка в водосток. Высота смесителей и уровень кромки переливов принимаются с учетом дополнительной высоты в сооружениях для приема воды при выключении фильтров на промывку (см. § 36 стр. 147). В случае закрытых смесительных устройств переливные трубы устанавливают в ближайших к ним сооружениях.

При расчете трубопроводов, отводящих воду от смесителя в последующие технологические сооружения, скорость воды в них принимают равной 0,8—1,0 *м/сек*, время ее пребывания — не более 2 *мин*.

§ 17. Дырчатые смесители

Дырчатый смеситель (рис 15), получивший широкое применение на станциях обработки воды производительностью до 20—24 тыс *м³/сутки*, представляет собой железобетонный лоток с тремя вертикальными перегородками, установленными перпендикулярно к движению воды и снабженных отверстиями, расположенными в несколько рядов. Вытекающие из отверстий струи воды создают большое число мелких завихрений в лотке смесителя, что способствует эффективному смешению вводимых реагентов с обрабатываемой водой. С целью исключения возможности насыщения воды пузырьками воздуха предусматривают затопление верхних рядов отверстий в перегородках на глубину 0,15—0,1 *м*. Скорость движения воды в отверстиях перегородок принимают равной 1 *м/сек*.

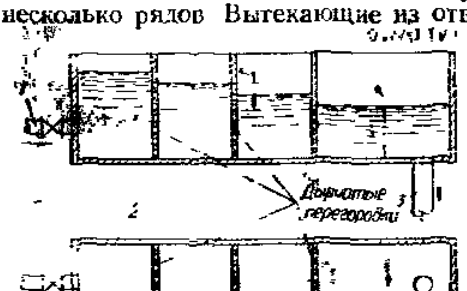


Рис 15. Дырчатый смеситель:
1 — подача воды; *2* — место ввода реагентов; *3* — отвод воды

Расчет дырчатых смесителей проводят в следующем порядке. Число вертикальных дырчатых перегородок принимают обычно 3, расстояние между ними принимают равным не меньше ширины лотка. Диаметром отверстий в перегородках задаются в пределах от 20 *мм* — для станций небольшой производительности и до 100 *мм* — для станций производительностью 24 тыс *м³/сутки*.

Число их в каждой перегородке n определяют по формуле

$$n = \frac{4q}{v_0 \pi d^2} \text{ шт.}, \qquad (23)$$

где q — расчетный расход воды, поступающей в смеситель в $м^3/сек$,

v_0 — скорость движения воды в отверстиях, принимается равной 1 $м/сек$;

d — диаметр отверстий в $м$

Отверстия располагают на затопленной водой части перегородки, верхний ряд отверстий должен быть на глубине 0,15—0,1 $м$ Суммарная площадь отверстий в каждой перегородке не должна вышать 30% ее рабочей площади.

Потеря напора h в $м$ при прохождении воды через отверстия перегородки определяется по формуле

$$h = \frac{v_0^2}{2g\mu^2}, \qquad (24)$$

где $g = 9{,}81$,

μ — коэффициент расхода, зависящий от отношения диаметра отверстия d к толщине перегородки δ, принимается в пределах 0,65—0,75 ($\mu = 0{,}65$ при $d/\delta = 2$ и $\mu = 0{,}75$ при $d/\delta = 1$).

Задаваясь глубиной потока воды в конце смесителя (обычно в пределах 0,4—0,5 $м$), определяют уровни воды в начале смесителя и между перегородками. На отметку уровня в начале смесителя должна быть подведена вода насосами первого подъема

Ширина лотка дырчатого смесителя определяется по скорости движения воды, которую принимают $v_л \geq 0{,}6$ $м/сек$.

§ 18. Перегородчатые и коридорные смесители

Перегородчатый смеситель (рис 16) с разделением потока по ширине лотка имеет три перегородки, в первой и третьей проходы выполняются в центре, а в средней — два боковых прохода у стенок лотка. Поток воды через такие проходы в перегородках вызывает изменение направления ее движения в пределах лотка, а полученные скорости в суженных местах проходов создают завихрения, способствующие наиболее равномерному и полному смешению вводимого реагента с обрабатываемой водой. Для устранения подсасывания воздуха в воду верхние кромки проходов должны обязательно быть затоплены на 0,15—0,1 $м$.

Расстояние между перегородками равно двойной ширине лотка. Скорость движения воды в нем принимают равной не менее 0,3 $м/сек$, а в проходах 1 $м/сек$. Потеря напора в каждом проходе при этом составляет 0,15 $м$.

Вихревые смесители проектируются на время пребывания воды в них в течение 1,5—2 *мин*, а при реагентном умягчении до 3 *мин*. Систему сборных отводящих труб или лотков рассчитывают по скорости движения воды в них, равной 0,6 *м/сек*.

Вихревые смесители применяют на станциях обработки воды как большой, так и средней производительности, при условии, что на-

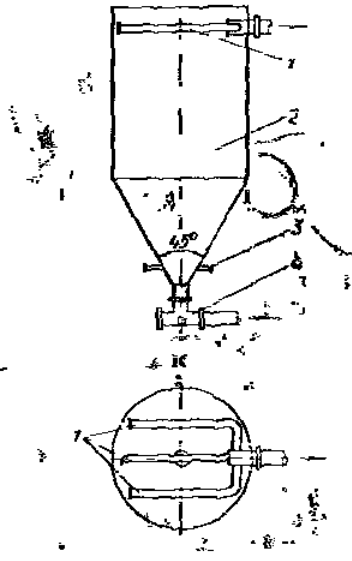


Рис. 17. Вертикальный смеситель.

1 — сборные дырчатые трубы. *2* — корпус смеситель. *3* — подача реагентов. *4* — трубопровод для опорожнения

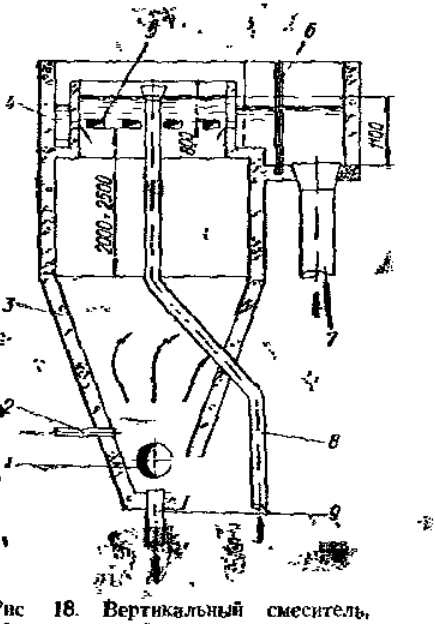


Рис 18. Вертикальный смеситель, обеспечивающий выделение воздуха из воды

1 — подвод воды, *2* — подвод реагентов *3* — бетонный корпус, *4* — кольцевой желоб, *5* — затопление отверстия, *6* — сетка *7* — отвод воды, *8* — перелив, *9* — трубопровод для опорожнения.

грузка воды на один смеситель не должна превышать 1200—1500 *м*³/*ч*.

Для смешения с обрабатываемой водой реагентов в виде суспензий — известкового и углевого молока, каустического магнезита и др — рекомендуется применение только вихревых смесителей. В них все частицы поддерживаются восходящим потоком воды во взвешенном состоянии и равномерно распределяются во всем потоке обрабатываемой воды.

При проектировании станций обработки воды с применением осветлителей со взвешенным осадком вертикальные смесители следует приспосабливать для воздухоотделения (рис. 18). При этом вертикальные стенки вихревого смесителя принимают высотой не менее 2,5—2 *м*; смешанную с реагентом воду отбирают через отвер-

При расходе воды через очистные сооружения q *м³/сек* расчет перегородчатого смесителя производят по формуле

$$q = b_1 (H + 2h' - h_3)\, v_п = 2b_2 (H + h' - h_3)\, v_п = b_3 (H - h_3)\, v_п, \quad (25)$$

где b_1, b_2 и b_3 — ширина проходов в перегородках в *м*;

$v_п$ — скорость движения воды в проходах, равная 1 *м/сек*;

h' — потеря напора в каждом проходе в *м*;

h_3 — заглубление проходов в перегородках в *м*;

H — глубина воды в лотке смесителя за перегородками, принимают равной 0,4—0,6 *м*

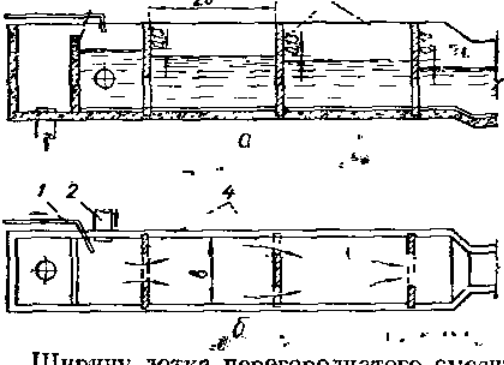


Рис. 16. Перегородчатый смеситель

а — продольный разрез, *б* — план, *1* — подача реагента, *2* — подача воды *3* — перегородки *4* — переговодки

Ширину лотка перегородчатого смесителя рассчитывают по скорости движения воды в нем $v_з = 0{,}6$ *м/сек*.

Для станций производительностью более 300 тыс *м³/сутки* разрешается применять горизонтальные смесители типа смесителей Мосводоканалпроекта. Расстояние между перегородками должно быть не менее 0,7 *м*, скорость движения воды в них при времени пребывания ее в смесителе 2 *мин* принимается равной 0,6 *м/сек*, при времени пребывания 1,5 *мин* — 0,9 *м/сек*. Потеря напора в *м* определяется по формуле

$$h = 0{,}15v^2n, \quad (26)$$

где n — число поворотов потока воды, обычно равное 6—7.

§ 19. Вихревые (вертикальные) смесители

Вертикальный вихревой смеситель (рис. 17) представляет собой круглый или квадратный (в плане) резервуар с конической или пирамидальной нижней частью. Центральный угол между наклонным стенками должен составлять 30—40°. Перемешивание воды в вихревом смесителе происходит за счет изменения скорости восходящего потока воды при переходе от узкой (нижней) к широкой (верхней) части смесителя. Скорость выхода воды из подводящего трубопровода в нижнюю часть смесителя принимают в пределах 1—1,2 *м/сек*, скорость восходящего движения воды на уровне сборного устройства смесителя должна составлять 25 *мм/сек*.

стия, затопленные в воду на глубину 0,6—0,9 *м*. Для защиты отверстий распределительных труб осветлителей от забивания крупной коагул ной взвесью воду при выходе из смесителя процеживают через сетки с ячейками 5—7 *мм*.

Вертикальный вихревой смеситель имеет большое преимущество перед перегородчатым и дырчатым при умягчении воды известкованием, так как в нем происходит частичное умягчение воды с отложениями на нерастворимых частицах и сткового молока твердого карбоната кальция. Это приводит к ышению стабильности воды, выходящей из вертикального смесителя, в результате чего уменьшаются отложения по пути движения воды и изменяется структура самих карбонатных отложений.

§ 20. Смешение реагентов в трубопроводе

При подаче реагентов непосредственно в напорный водовод необходимо, чтобы приемная воронка в месте ввода раствора реагентов была выше линии пьезом ического давления воды в трубе, а также чтобы между местом ввода и концом трубы не было задвижек, применяемых для регулирования поступающей на очистные сооружения воды. Длина участка, на котором происходит смешение, должна быть не меньше 50 диаметров трубопровода.

Для лучшего смешения раствора реагентов с абатываемой водой и сокращения длины участка рекомендуется устраивать сужения в напорном водоводе в виде трубы Вентури или диафрагмы (шайбы). Эти сужения позволяют несколько снизить пьезометрическое давление в месте ввода раствора реагентов в трубопровод и, следо ательно, у ьшить высоту положения дозатора. Такие дро ые ус йства обусловл ют появление вихревых потоков в обрабатываемой воде, что благоприятствует смешению ее с реагентами. Потеря напора в них не должна превышать 0,3—0,4 *м*

Трубка, подводящая раствор реагента в напорный трубопровод, должна доходить до его середины, а ее конец должен быть срезан под углом 45° Трубку изготовляют из пластмассы или стекла и укрепляют в напорном трубопроводе при помощи сальника. В тех случаях, когда высотное расположение нап ого водовода и дозировочных устройств не обеспечивает пода у раствора реагента в водовод самотеком, может быть рекомендована установка с эжектором (рис. 19).

Величина вакуума в эжекторе в *м вод. ст.* определяется по формуле

$$B = \frac{Hf_1^2}{f_2^2} - H, \qquad (27)$$

где H — напор воды, подводимой к эжектору в *м*;
f_1 — площадь сечения отводящей трубы в $м^2$;
f_2 — площадь суженного сечения в $м^2$.

Расход подводимой к эжектору воды в $м^3/ч$ может быть определен по формуле

$$Q_э = \frac{q_э h}{\eta (Hh)}, \qquad (28)$$

где $q_э$ — производительность эжектора в $м^3/ч$,
h — высота подачи воды эжектором в $м$;
η — к.п.д эжектора, принимаемый в пределах 0,1—0,15.

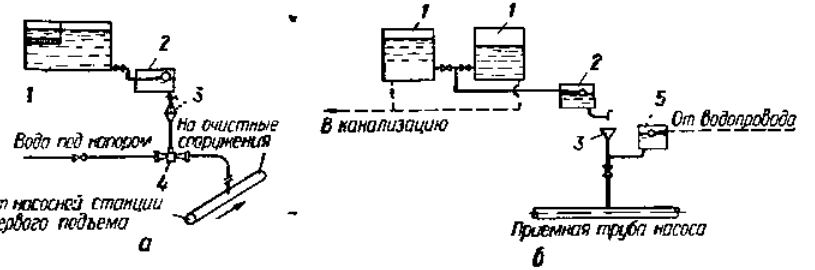


Рис. 19 Схема ввода реагента

а — в напорный трубопровод при помощи эжектора *б* — во всасывающую трубу насоса *1* — раствор коагулянта, *2* — дозировочный бак, *3* — воронка, *4* — эжектор *5* — бачок постоянного уровня

§ 21. Механические смесители

Механические смесители основаны на принципе механического перемешивания обрабатываемой воды с реагентами. Применение их особенно удобно при введении нескольких реагентов.

Схема механического смесителя пропеллерного типа конструкции института Г[illegible] пец[illegible]ть [22] приведена на рис. 20. Пр[illegible]ип его работы осн[illegible]а и[illegible]гупательном движении воды, сос[illegible]аемой ей пропеллером типа пароходного в[illegible]а. Емкость резервуара смесителя 20 $м^3$. Г[illegible]ние вала [illegible]опеллера равно 145 *об/мин.*

Расчет меха[illegible]их смеси[illegible]ей сводится к определению объема камеры, мощности и диаметра мешалки [22]

Объем камеры смесителя в $м^3$ принимается равным объему воды, поступающей на очистку за 1—2 *мин.* При этом количество просасываемой пропеллером воды в $м^3/сек$ равно

$$Q_я = \frac{Wz}{60}, \qquad (29)$$

где W — объем резервуара в $м^3$;
z — число оборотов воды в смесителе за 1 *мин* (принимают обычно 5—10).

Диаметр [illegible]палки в $м$ находят, принимая скорость просасывания воды через [illegible]опеллер, равной 1,5—2,0 *м/сек.* Эта скорость связана с площадью, ометаемой пропеллером, зависимостью

$$v_0 = \frac{Q_п}{F} = \frac{Q_п}{0{,}94 \cdot \frac{\pi D^2}{4}}. \qquad (30)$$

Число оборотов пропеллера мешалки в 1 *мин* находят по формуле

$$n_м = \frac{27{,}2 \cdot v_0}{D \operatorname{tg} \varphi \cos^2 \varphi}, \qquad (31)$$

где φ — угол наклона лопасти винта (принимают равным 22°).

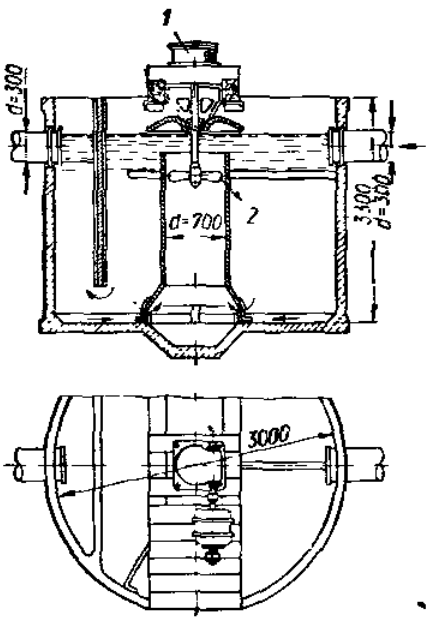


Рис. 20 Механический смеситель:
1 — электродвигатель, 2 — лопастной винт

Мощность на оси пропеллера в *квт* определяется из выражения

$$N_0 = \frac{9{,}81 \cdot QH}{\eta_0}, \qquad (32)$$

где η_0 — к. п. д. пропеллера, равный 0,7—0,8.

Мощность мотора будет равна

$$N_м = \frac{N_0}{\eta_п}, \qquad (33)$$

где $\eta_п$ — к. п. д передачи от мотора к мешалке (принимается в зависимости от типа передачи в пределах 0,6—0,95).

Напор, развиваемый пропеллером, должен обеспечить достижение скорости в смесителе и преодолеть потери напора в местных сопротивлениях. Этот напор определяется по формуле

$$H = \frac{1}{\eta_2} \left(h + \frac{v^2}{2g} \right), \qquad (34)$$

где η_2 — *гидравлический к.п.д. пропеллера, равный 0,8—0,9.*

Величина h равна 0,2 *м*.

§ 22. Воздухоотделители

Для встроенных камер хлопьеобразования, осветлителей со взвешенным осадком и контактных осветлителей проектируются воздухоотделители (рис 21), в которых вода освобождается от пузырьков воздуха и газов, образующихся в процессе ее обработки. Площадь их рассчитывается из условия скорости восходящего движения воды не более 0,05 *м/сек*. Время пребывания воды в воздухоотделителе должно быть не менее 1 *мин* [57].

В зависимости от компоновки станции обработки воды воздухоотделитель проектируется либо общий для всех сооружений, либо отдельный для каждого сооружения. Если конструкция смесителей обусловливает выделение воздуха из воды и на участке от смеси-

телей к перечисленным сооружениям не наблюдается захвата воздуха водой, то воздухоотделители в технологической схеме можно не применять.

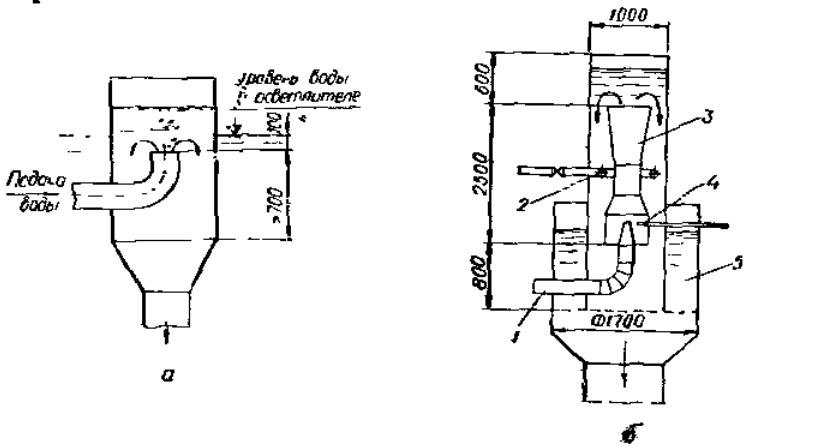


Рис 21 Схема воздухоотделителей обычного (*а*), с эжекторным устройством (*б*)

1 — подача воды, *2* — дырчатая труба для подачи сжатого воздуха, *3* — эжектор, *4* — ввод реагентов *5* — корпус воздухоотделителя.

§ 23. Примеры расчетов смесителей

Пример 1 Рассчитать дырчатый смеситель для очистной станции с расходом воды 17280 *м*³/*сутки* или 0,2 *м*³/*сек*.

Принимаем скорость движения воды в лотке за последней перегородкой $v_л = 0{,}6$ *м/сек*, откуда площадь сечения лотка

$$S_л = \frac{q_{расч}}{v_л} = \frac{0{,}2}{0{,}6} = 0{,}33 \ м^2.$$

Приняв высоту слоя воды в конце смесителя $H = 0.5$ *м*, находим ширину лотка

$$b_1 = S_1 : H = 0{,}33 : 0{,}5 = 0{,}66 \ м.$$

По формуле (24) потеря напора в отверстиях тонких перегородок смесителя при скорости в них $v = 1{,}0$ *м/сек* равняется

$$h = \frac{1^2}{0{,}65^2 \ 2 \ 9{,}81} = 0{,}12 \ м.$$

Расчетная глубина воды перед каждой перегородкой, считая с конца смесителя составит:

$$h_1 = 0{,}50 + 0{,}12 = 0{,}62 \ м;$$
$$h_2 = 0{,}50 + 2 \cdot 0{,}12 = 0{,}74 \ м;$$
$$h_3 = 0{,}50 + 3 \cdot 0{,}12 = 0{,}86 \ м.$$

Суммарная площадь отверстий в каждой перегородке равна

$$f_0 = q_{расч} : v = 0{,}2 : 1 = 0{,}2 \ м^2.$$

Приняв диаметр отверстий равным 60 *мм*, находим их количество по формуле (23)

$$n = \frac{4 \cdot 0{,}2}{1 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}06^2} = 72 \text{ шт.}$$

Суммарная площадь отверстий перегородки не должна превышать 30% рабочей площади. Следовательно, минимальная площадь перегородки

$$f_п = 0{,}2 : 0{,}3 = 0{,}66 \ м^2.$$

Высота первой перегородки (от конца смесителя) с учетом 0,10 *м* затопления верхних отверстий равна

$$h_п = 0{,}62 - 0{,}10 = 0{,}52 \ м$$

Отсюда определяем ширину лотка смесителя

$$b = f_п : h_п = 0{,}66 : 0{,}52 = 1{,}27 \ м \approx 1{,}3 \ м.$$

Отверстия распределяем по вертикали в 6 рядов, по горизонтали в 12 рядов. Шаг осей отверстий по вертикали в первой перегородке с учетом затопления верхнего ряда на 0,10 *м* равен $e_1 = 520 : 6 = 87$ *мм*. Во второй перегородке $e_2 = 640 : 6 = 106$ *мм*, в третьей перегородке $e_3 = 760 : 6 = 127$ *мм*.

Шаг отверстий по горизонтали во всех трех перегородках принят 120 *мм* с учетом, что ось крайних отверстий от стенки смесителя размещена на расстоянии 50 *мм*. Расстояние между перегородками принято равным полуторной ширине лотка, т. е. $l = 1{,}5 \cdot 1{,}3 = 1{,}95$ *м*.

Пример 2. Определить размеры вертикального (вихревого) смесителя для фильтровальной станции производительностью 180 $м^3/ч$ или 50 *л/сек* с учетом расхода воды на нужды станции. Продолжительность пребывания воды в смесителе принята равной 2 *мин*. Форма в плане принята круглая.

Скорость восходящего потока в цилиндрической части смесителя принята 25 *мм/сек* или 90 *м/ч*.

Угол конусности конической части принят $\alpha = 40°$.

Площадь поперечного сечения цилиндрической части смесителя

$$f_ц = q_{час} : v = 180 : 90 = 2 \ м^2$$

Диаметр смесителя

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot f_ц}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2}{3{,}14}} = 1{,}6 \ м.$$

Диаметр входного отверстия смесителя принимаем равным диаметру подводящей трубы. При расходе $q = 50$ *л/сек* и $v = 1{,}0$ *м/сек* диаметр подающего трубопровода $d = 253$ *мм*.

Высота конической части смесителя при угле конусности будет равна

$$h = \frac{1600 - 253}{2 \cdot \operatorname{tg} 20°} = \frac{1347}{2 \cdot 0{,}364} = 1850 \ мм = 1{,}85 \ м.$$

Объем конусной части смесителя

$$W_к = \frac{1}{3} \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}85 \left[\left(\frac{1{,}60}{2} \right)^2 + \left(\frac{0{,}253}{2} \right)^2 + \frac{1{,}6}{2} \cdot \frac{0{,}253}{2} \right] = 1{,}7 \ м^3.$$

Полный объем смесителя

$$W = \frac{q_{час} \cdot t}{60} = \frac{180 \cdot 2}{60} = 6 \ м^3.$$

Необходимый объем цилиндрической части

$$W_ц = W - W_к = 6 - 1{,}7 = 4{,}3 \ м^3.$$

При площади цилиндрической части смесителя 2 $м^2$ необходимая высота равна

$$\frac{4.3}{2} = 2{,}15 \ м$$

(до верха сборных дырчатых труб).

Общая высота смесителя равна

$$h = 1{,}85 + 2{,}15 = 4.0 \ м.$$

Сбор воды в смесителе предусматриваем тремя дырчатыми трубами $d = 200$ *мм* (скорость воды в трубах $v = 0{,}55$ *м/сек*).

Отводная труба принята $d = 279$ *мм* Скорость воды в ней $v = 0{,}82$ *м* (при [illegible]ме 0,8—1,0 *м/сек*)

Пример 3. Рассчитать механический смеситель пропеллерного типа для станции очистки производительностью 1000 $м^3/ч$.

Объем резервуара смесителя принимаем равным одноминутному расчетному расходу воды

$$W = \frac{1000}{60} = 16{,}7 \ м^3.$$

При числе оборотов воды в смесителе $z = 5$ количество воды, просасываемой пропеллером за 1 *сек*, по формуле (29) находим

$$Q_п = \frac{16{,}7 \cdot 5}{60} = 1{,}39 \ м^3/сек.$$

Принимаем скорость просасывания воды через пропеллер $v_0 = 2$ *м/сек*, при этом площадь, ометаемая пропеллером, по формуле (30) будет равна

$$\frac{1.39}{2} = 0{,}695 \ м^2.$$

этому значению, используя формулу (30), находим диаметр пр[illegible]ллера

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}695}{0{,}94 \cdot 3{,}14}} = 1{,}0 \ м.$$

Напор, развиваемый пропеллером, по формуле (34)

$$H = \frac{1}{0{,}8} \left(0{,}2 + \frac{2^2}{2 \cdot 9{,}81} \right) = 0{,}5 \ м.$$

Мощность на оси пропеллера на основании формулы (32)

$$N_0 = \frac{9{,}81 \cdot 1{,}39 \cdot 0.5}{0{,}75} = 9{,}1 \ квт.$$

При червячной передаче ($\eta_п = 0{,}6$) мощность электромотора по формуле (33) будет равна

$$N_м = 9{,}1 : 0{,}6 = 15{,}2 \ квт$$

Число оборотов пропеллера определяется на основании формулы (31)

$$n_м = \frac{27{,}2 \cdot 2}{1.0 \cdot 0{,}40 \cdot (0{,}93)^2} = 160 \ об/мин.$$

ГЛАВА V

КАМЕРЫ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ И ОТСТОЙНИКИ

§ 24. Назначение и типы камер хлопьеобразования и отстойников

Камеры хлопьеобразования станций реагентного осветления и обесцвечивания воды предназначены для протекания физико-химических процессов, обусловливающих образование крупных, прочных, быстрооседающих хлопьев гидроокиси алюминия или железа с извлекаемыми из воды примесями.

Формирование и укрупнение хлопьев гидроокисей в спокойной воде протекает относительно медленно, особенно при температуре ниже 2—1°С. Для получения достаточно крупных хлопьев в количестве 5—10 шт. в 1 $см^3$, что отвечает началу осаждения их, обрабатываемую воду в камерах хлопьеобразования перемешивают, создавая в ней встречные потоки. В результате взаимных столкновений хлопья гидроокисей с сорбированными на них примесями укрупняются и в дальнейшем легко отделяются от воды. Практикой, например, установлено, что в интервале температур 3—18°С при перемешивании воды затрачивается лишь 5—7% времени, необходимого для достижения того же эффекта без перемешивания, хлопья гидроокиси при этом получаются более крупные и прочные.

Перемешивание в камерах хлопьеобразования не должно быть слишком интенсивным, особенно в конце этих сооружений, чтобы не разрушить образовавшиеся агрегаты. При последующем осветлении воды в отстойниках для устранения разрушения хлопьев в коммуникациях, камеры хлопьеобразования рекомендуется изготовлять примыкающими или встроенными в отстойники и составляющими с ними одно сооружение. В отдельно стоящих камерах хлопьеобразования скорость движения воды в отводящих трубопроводах или каналах должна быть не более 0,3 *м/сек.* Для наблюдения за протеканием процесса формирования хлопьев над камерами целесообразно устраивать павильоны шириной до 6 *м.*

При осветлении и обесцвечивании воды в осветлителях со взвешенным осадком камеры хлопьеобразования не устраиваются, так

как процесс формирования хлопьев протекает в нижней зоне этих сооружений.

В камерах хлопьеобразования рекомендуется применять гидравлическое перемешивание и лишь иногда, когда по местным условиям это окажется нерациональным, допускается механическое перемешивание. В зависимости от типа и конструктивного решения камер хлопьеобразования, время пребывания в них обрабатываемой воды колеблется от 6 до 30 *мин.*

В современной практике применяется несколько типов камер хлопьеобразования, отличающихся способом перемешивания воды, режимом формирования хлопьев и предназначенных для различных систем отстойников. При осветлении воды в вертикальных отстойниках камеры водоворотного типа располагают в центральной трубе. В случае горизонтальных отстойников рекомендуется использовать перегородчатые камеры хлопьеобразования с горизонтальным или вертикальным движением воды, вертикальные (вихревые) камеры хлопьеобразования и встроенные камеры хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка; при соответствующем обосновании допускается также использовать камеры хлопьеобразования с механическим перемешиванием.

Отстойники станций реагентного осветления и обесцвечивания воды предназначены для выделения из нее основной массы отработанного сорбента — хлопьев гидроокиси алюминия или железа вместе с элементами загрязнения.

Частицы взвешенных веществ, плотность которых больше плотности воды, под действием силы тяжести оседают в воде, если она находится в покое или движется с небольшой скоростью. При этом частицы взвеси приобретают постоянную скорость осаждения, а при падении обтекаются потоком жидкости.

Скорость осаждения мелкой (10^{-1}—10^{-4} *мм*) плотной частицы шарообразной формы, не изменяющей своего объема в процессе оседания, вычисляется по формуле, выведенной на основе закона Стокса

$$w = \frac{d^2}{18\mu} \cdot g(\gamma_т - \gamma_ж), \qquad (35)$$

где w — скорость осаждения частиц взвеси в *см/сек*;
d — диаметр частиц в *см*;
μ — вязкость жидкости в *пз*;
$\gamma_т$ и $\gamma_ж$ — плотность частиц взвеси и жидкости в *г/см*^{3}.

Если осаждающаяся частица представляет собой комплекс веществ разной плотности, как это имеет место в практике водоочистки, то формула Стокса примет вид

$$w = \frac{d^2}{18\mu} \cdot g\left(\frac{\gamma_{т_1} W_1 + \gamma_{т_2} W_2 + \ldots}{W_1 + W_2 + \ldots} - \gamma_ж\right), \qquad (36)$$

где $\gamma_{т_1}$ и $\gamma_{т_2}$ — плотность составляющих частиц веществ в *г/см*^{3};
W_1 и W_2 — их относительные объемы в *см*^{3}.

Для случаев, когда частицы имеют нешарообразную форму, вводится понятие эквивалентного диаметра; эквивалентный диаметр характеризует частицы с одинаковой скоростью падения — гидравлической величиной, выражаемой в *мм/сек* при 10° Эта величина, называемая гидравлической крупностью частиц, определяется опытным путем и используется при расчете отстойников

Из формулы (35) видно, что скорость осаждения, пропорциональная квадрату диаметра взвешенных частиц, тем больше, чем больше плотность и меньше вязкость жидкости.

С изменением температуры доминирующее влияние имеет вязкость, так как при повышении температуры воды в пределах 5—30° вязкость ее уме ьшается вдвое, а плотность — всего лишь на 2%.

Большое знач е для скорости осаждения имеет плотность взвешенных в воде частиц. Ее значения для некоторых веществ, обра зую ся в ce химической очистки воды, косвенно характеризующие спо ность их к осаждению и уплотнению, следующие

Гидроокись алюминия	1,016
То же, с веществами цветности	1,035
» с активированной кремнекислотой	1,060
» с глиной	1,180
Гидроокись железа	1,020
Гидроокись магния	1,075
Карбонат кальция	2,52

Примечание Плотность взвешенных веществ, выделяющихся при очистке воды, значительно отличается от табличных величин плотности соответствующих химических соединений в связи со значительной гидратацией частиц в момент их образования.

Применение в качестве коагулянтов солей железа вместо солей алюминия позволяет осуществить быстрее процесс осаждения отраб го сорбента. Этот процесс интенсифицирует также примен ремнекислоты и полиакриламида.

При проектировании отстойников скорость выпадения задерживаемой ими взвеси u_0 еделяют на основании результатов технологических исследова и опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях При отсутствии таких данных следует руководствоваться значениями u_0 (табл 24), рекомендованными [21], учитывая при этом сезонные изменения качества воды в источнике. Мутность отстоенной воды — не выше 8—10 *мг/л*.

Таблица 24. *Скорость осаждения взвеси, задерживаемой в отстойнике*

Характеристика исходной воды и метод обработки	u_0 в *мм/сек*
Цветные воды, содержащие до 50 *мг/л* взвешенных веществ, обработка коагулянтом	0,35—0,45
Мутные воды, с жащие от 50 до 250 *мг/л* взвешенных веществ, обработка коагу том	0,45—0,50
Мутные воды, содержащие более 250 *мг/л* взвешенных веществ; обработка коагулянтом	0,50—0,60
Мутные воды, не обрабатываемые коагулянтом	0,12—0,15

Примечание В случае применения флокулянтов при коагулировании значения u_0 увеличивают на 20—30%.

Концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойники, C в *мг/л*, вычисляется по формуле

$$C = M + K\mathcal{Д}_к + 0{,}25Ц + B_1, \qquad (37)$$

где M — количество взвешенных веществ в воде, поступающей *на очистные сооружения*, в *мг/л*;

K — коэф[illegible], учитыва[illegible] количество нерастворимых вещ[illegible]симых ко[illegible] том и образующихся при его гидролизе, для очищенного сернок[illegible]ого алюминия принимается равным 0,5, для нес[illegible]ного сернокислого гли[illegible]ема — 1,2, для хлорного [illegible] — 0,8;

$\mathcal{Д}_к$ — доза коагулянта при расчете на безводный продукт в *мг/л*;

$Ц$ — цветность исходной воды в *град*;

B_1 — количество нерастворимых примесей, вносимых с известью, в *мг/л*

Концентрация осадка, образующегося в отстойниках, зависит от времени его уплотнения и содержания взвешенных веществ в исходной воде При расчете зон накопления и уплотнения осадка в отстойниках следует руководствоваться данными, приведенными в табл. 25.

Таблица 25 *Средняя концентрация уплотненного осадка*

Содержание взвешенных веществ в исходной воде *мг/л*	Средняя концентрация осадка в *г/м³* после уплотнения в течение					
	3 *ч*	4 *ч*	5 *ч*	8 *ч*	12 *ч*	24 *ч* и более
До 50	4500	5500	6000	6500	7500	10000—15000
Более 50 до 100	6500	7500	8000	8500	9500	15000—30000
То же 100 до 400	19000	21500	24000	25000	27000	30000—50000
» 400 до 1000	24000	25000	27000	29000	31000	50000—70000
» 100 до 2500	29000	31000	33000	35000	37000	70000—90000
При безреагентной обработке воды	—	—	—	—	—	150000

На водопроводных очистных сооружениях для осаждения основной массы взвешенных веществ используют вертикальные и горизонтальные отстойники, на[illegible]ные так по на[illegible]ю потока воды в них Выбор типа отсто[illegible]иков обусловлен [illegible]производительностью *технологических сооружений*, *качеством* исходной воды, о[illegible]ей компоновкой станции, гидрогеологическими условиями площадки, а также экономическими и конструктивными соображениями Если число отстойников, проектируемых на станции, будет меньше шести, то для проведения их ремонта и чистки целесообразно проектировать один резервный.

§ 25. Вертикальные отстойники с водоворотными камерами хлопьеобразования

Вертикальные отстойники представляют собой круглые или квадратные в плане железобетонные резервуары, схема их приведена на рис. 22. При коническом или пирамидальном днище угол между образующими конуса или наклонными стенками должен быть по рядка 50—70°.

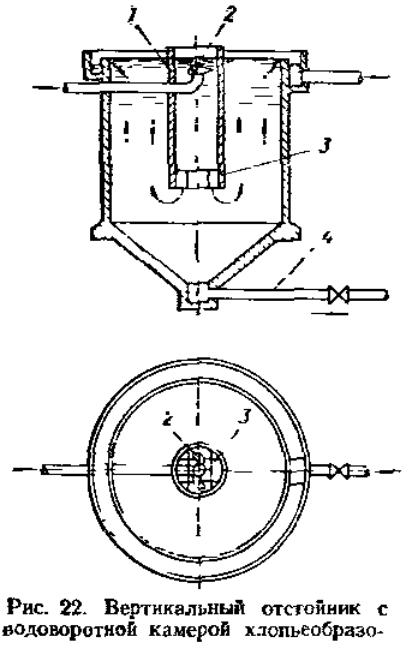


Рис. 22. Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования

1 — камера хлопьеобразования *2* — сопла, *3* — гаситель; *4* — трубопровод для сброса осадка

В центре отстойника помеща ется труба, обычно используемая в качест — оротной камеры хлопьеоб ия. Вода по центральной трубе опускается вниз и далее движется в отстойнике снизу вверх по всему сечению. Осветленная вода перелива ется через борт отстойника в круговой желоб. При площади отстойника более 12 *м*² для сбора отстойной воды в дополнение к периферийным желобам устраивают радиальные желоба: при площади до 30 *м*²—4 радиальных желоба; при большей площади— 6—8 желобов. Сечение их определяют, исходя из скорости дви жения воды в них 0,6—0,7 *м/сек*.

Если фильтры станции работают с постоянной скоростью фильтрования, то отбор воды из отстойника производят через затопленные отверстия в желобах; диаметр их 20—30 *мм*, скорость движения воды 1 *м/сек*. Осадок, скапливающийся в нижней части отстойника, периодически удаляется самотеком (под давлением столба воды) при открытой задвижке на выпускной трубе диаметром 150—200 *мм* или же отсасывается насосом, если выпуск самотеком по местным условиям невозможен.

Вертикальные отстойники рекомендуется применять, как правило, на станциях реагентной очистки воды с производительностью до 3 тыс. *м*³/*сутки*.

Применяемая в вертикальном отстойнике *водоворотная камера хлопьеобразования* представляет собой цилиндрический металлический или железобетонный резервуар, в верхнюю часть которого поступает вода по трубопроводу, снабженному на конце соплами-насадками (см. рис 22).

Сопла направляются по касательной, благодаря чему создается вращательное движение воды, способствующее эффективному ее

перемешиванию, их располагают на расстоянии 0,2 $d_{к.х}$ от стенки, где $d_{к.х}$ — диаметр камеры хлопьеобразования на глубине 0,5 *м* от поверхности воды. Скорость выхода воды из сопла $v_с$ принимается равной 2—3 *м/сек*, потеря напора в *м* при этом составляет

$$h = 0{,}06 \quad v_с^2 . \qquad (38)$$

Из камеры хлопьеобразования вода выходит в гаситель в виде решетки (0,5×0,5 *м*) из досок высотой около 0,8 *м*, поставленных на ребро, в котором вращательное движение воды переходит в прямолинейное.

Время пребывания воды в водоворотной камере принимается в пределах 15—20 *мин*, высота ее должна быть равной 3,5—4,5 *м*.

Расчетная скорость восходящего потока воды в вертикальном отстойнике не должна превышать величины скоростей выпадения взвесей u_0, приведенных в табл. 24. В практике эксплуатации установлено, что в медленно поднимающемся потоке воды коагулированная взвесь, постепенно агрегируясь, достигает размеров, при которых скорость ее осаждения становится больше восходящей скорости и, как следствие, основная масса взвешенных веществ выделяется в отстойнике.

Площадь поперечного сечения вертикального отстойника состоит из площади камеры хлопьеобразования и площади зоны осаждения. Площадь встроенной в отстойник водоворотной камеры хлопьеобразования f в $м^2$ определяется по формуле

$$f \quad \frac{qt}{60HN} , \qquad (39)$$

где q — расчетный расход воды в $м^3/ч$;

t — *время пребывания воды в камере хлопьеобразования в мин*,

H — высота камеры хлопьеобразования в *м*;

N — расчетное число отстойников на станции

Площадь зоны осаждения вертикального отстойника F в $м^2$ вычисляется по формуле

$$F = \beta \frac{q}{3{,}6 v_р N} , \qquad (40)$$

где $v_р$ — расчетная скорость восходящего потока в *мм/сек*;

β — коэффициент объемного использования отстойника, принимается в пределах 1,3—1,5.

Высота зоны осаждения принимается в зависимости от высотной схемы станции равной 4—5 *м* с учетом дополнительной высоты для приема воды при выключении фильтров на промывку (см. стр. 147). Отношение диаметра вертикального отстойника к высоте зоны осаждения должно быть в пределах 1,0—1,5. Коэффициент объемного использования в формуле (40) принимается меньший при отношении 1,0 и больший при отношении 1,5.

Объем осадочной части отстойника $W_{ос}$ в $м^3$ зависит от накопления осадка в период между его выпусками (не менее 8 *ч*). Сброс осадка предусматривается без выключения отстойника из работы.

Период работы T в *ч* между сбросами осадка из осадочной части определяется по формуле

$$T = \frac{W_{oc}N\delta}{q(C-m)} \geqslant 8, \qquad (41)$$

где δ — средняя концентрация уплотненного осадка в *г/м*³ (см. табл. 25),

C — концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник, в *мг/л*, вычисляется по формуле (37),

m — концентрация взвеси в осветленной воде, принимается в пределах 8—12 *мг/л*.

Расход воды при сбросе осадка из отстойника в процентах от расчетного расхода воды, поступающей на станцию, можно определить по формуле

$$P_{oc} = \frac{K_p W_{oc} N}{qT} \cdot 100\%, \qquad (42)$$

где K_p — коэффициент разбавления осадка, принимаемый в пределах 1,2—1,5.

§ 26. Перегородчатые камеры хлопьеобразования

Перегородчатые камеры хлопьеобразования представляют собой железобетонные, прямоугольные в плане, резервуары с железобетонными или деревянными перегородками (рис. 23, 24).

Воду в перегородчатых камерах перемещают путем многократного изменения направления движения воды в них в горизонтальной или вертикальной плоскости. Время пребывания воды в перегородчатых камерах 20 *мин* для мутных и 30 *мин* — для цветных вод.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования применяют в очистных сооружениях большой производительности — с вертикальной циркуляцией до 45 000 *м*³*/сутки* и с горизонтальной циркуляцией выше 45 000 *м*³*/сутки*.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования обычно используют в комплексе с горизонтальными отстойниками (рис. 24). Конструируют их с расчетом промежуточного выпуска воды по длине камеры для регулирования времени пребывания воды в них. Дно перегородчатых камер хлопьеобразования делают с уклоном для выпуска осадка ($i = 0{,}02—0{,}03$); разрешается строить двухэтажные камеры.

При расчете перегородчатых камер хлопьеобразования из высотной схемы сооружения определяют среднюю высоту камер h в *м*, обычно ее принимают равной 2—3 *м*. На основании опыта эксплуатации аналогичных сооружений задаются временем пребывания в ней воды — t в *мин*, а также скоростью ее потока v в *м/сек*. Зная расчетную часовую производительность очистных сооружений q в *м*³*/ч*, объем камеры W в *м*³ находят из зависимости

$$W = \frac{qt}{60}. \qquad (43)$$

Площадь камеры в $м^2$ равна

$$F = \frac{W}{H} \qquad (44)$$

Для наиболее распространенных камер хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды ширину коридоров определяют по формуле

$$b = \frac{q}{3600vH} \qquad (45)$$

Наименьшая ширина коридора может быть принята 0,7 *м*, поток воды в них должен убывать со скоростью от 0,2—0,3 *м/сек* в начале и до 0,1—0,05 *м/сек* в конце камеры за счет увеличения расстояния между перегородками. Число поворотов потока воды в камере принимают равным 8—10.

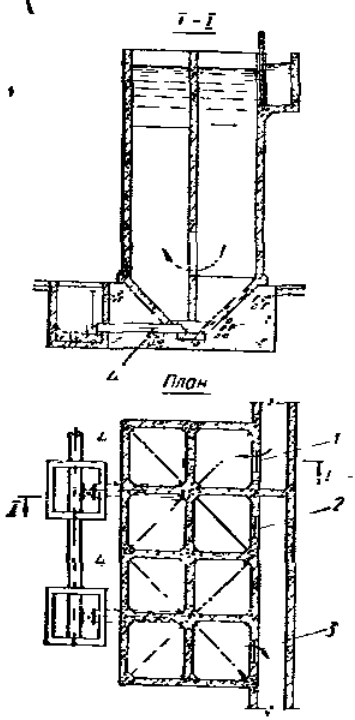


Рис 23. Перегородчатая камера хлопьеобразования с вертикальным движением воды

1 — подача воды, *2* — отвод воды из первой половины камеры, *3* — отвод воды, *4* — выпуск осадка

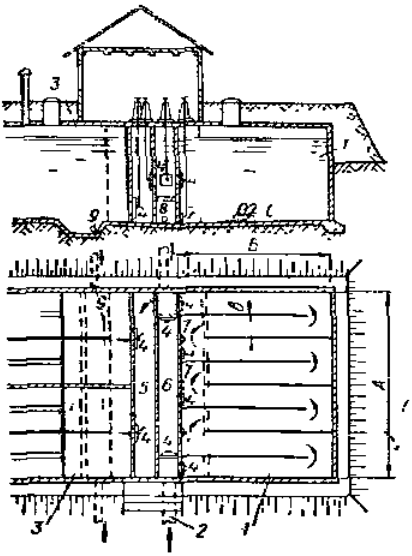


Рис 24. Перегородчатая камера хлопьеобразования с горизонтальным движением воды совмещенная с горизонтальным отстойником

1 — камера хлопьеобразования, *2* — трубопровод подводящий воду в камеру, *3* — отстойники, *4* — шлюзы для отвода воды, *5* — разделительный канал, *6* — отводной канал, *7* — шлюзы для выпуска осадка, *8* — канал для отвода осадка, *9* — удаление осадка из отстойника

Одну из сторон перегородчатой камеры хлопьеобразования в плане принимают равной ширине отстойника, другую подбирают так, чтобы отношение сторон было в пределах 0,66—1,5.

Потерю напора в *м* в перегородчатых камерах хлопьеобразования определяют из выражения

$$h = 0{,}15v^2n, \qquad (46)$$

где n — число поворотов потока воды.

§ 27. Вертикальные и встроенные камеры хлопьеобразования

Вертикальная (вихревая) камера хлопьеобразования представляет собой усеченный конус или пирамидальный резервуар, обращенный суженной частью вниз, с цилиндрической или призматической надставкой над ним (рис 25, 26). Она может также устраиваться в виде прямоугольного в плане резервуара с вертикальными стенками. Угол между наклонными стенками, в зависимости от

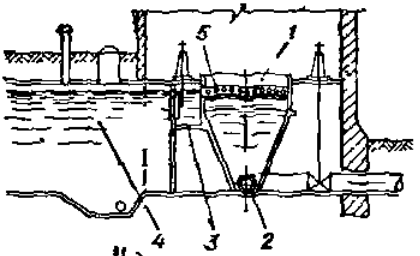


Рис 25. Вертикальная (вихревая) камера хлопьеобразования, совмещенная с горизонтальными отстойниками

1 — камера хлопьеобразования, *2* — распределительный тр[illegible]од с щелевыми прорезями *3* — распределительный канал, *4* — отстойники, *5* — сборные желоба с затопленными отверстиями, *6* — шиберы

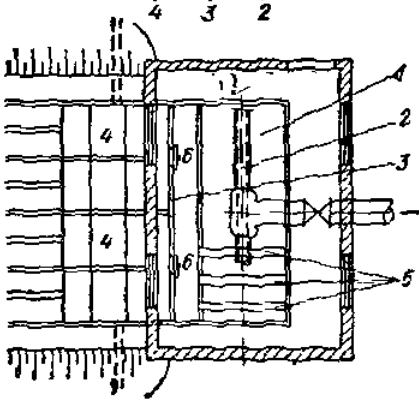
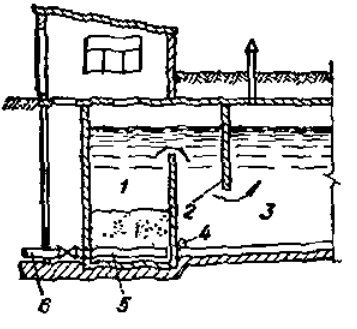


Рис 26. Вертикальная камера хлопьеобразования, встроенная в горизонтальный отстойник.

1 — камера хлопьеобразования, *2* — отбойная стенка, *3* — горизонтальный отстойник; *4* — сброс осадка, *5* — распределительные трубы, *6* — подача воды от смесителя.



высоты камеры, принимается равным 50—70°. Обрабатываемая вода, смешанная с реагентами, поступает в такую камеру снизу. Скорость ее входа должна быть равной 0,7 *м/сек*, а скорость восходящего потока воды на выходе из камеры в пределах 4—5 *мм/сек*, т. е. в 175—140 раз меньше.

При движении воды снизу вверх с довольно уменьшающейся скоростью боковые ее слои подсасываются в основной поток, распространяющийся одновременно во все стороны. В результате этого во всей массе воды, находящейся в камере, образуется ряд вихрей, способствующих эффективному перемешиванию, созреванию и укрупнению хлопьев.

Время пребывания воды в вертикальных камерах хлопьеобразования принимают в пределах 6—10 *мин*, а при реагентном умягчении воды — 5—6 *мин*. Сбор и отвод из камеры воды с образовавшимися хлопьями гидроокиси алюминия или железа в отстойники должен осуществляться таким образом, чтобы они не разрушались. Для этого скорость движения воды в сборных лотках, трубах и отверстиях не должна превышать 0,1 *м/сек* для мутных и 0,05 *м/сек* для цветных вод.

Вертикальная камера хлопьеобразования, совмещенная с горизонтальными отстойниками, показана на рис 25 Обрабатываемая вода из смесителя поступает по трубопроводу вниз камеры хлопьеобразования с пирамидальным днищем и затем, пройдя по распределительным трубам со щелевыми отверстиями, движется снизу вверх с уменьшающейся скоростью. Из верхней части камеры вода по сборным желобам с затопленными отверстиями отводится в распределительный канал и примыкающие к нему отстойники

Встроенная в горизонтальный отстойник камера хлопьеобразования со взвешенным осадком приведена на рис. 26. Она имеет вертикальные стенки, что значительно упрощает компоновку сооружений. Обычно такие камеры устраивают непосредственно в горизонтальных отстойниках, в их начале Время пребывания воды в камере хлопьеобразования со взвешенным слоем осадка, встроенной в отстойник, должно быть не менее 20 *мин*. При этом рекомендуется принимать в них следующие скорости восходящего потока воды в *мм/сек*:

При осветлении вод малой мутности	1,0
То же, средней мутности (300—600 *мг/л*) . . .	1,5
» большой мутности	2,0

Обрабатываемая вода по площади камеры распределяется при помощи перфорированных каналов или труб через отверстия, направленные горизонтально или вниз под углом. Скорость движения воды в таких трубах принимается в пределах 0,5—0,6 *м/сек*, а площадь отверстий в их стенках должна составлять 30—40% площади сечения самих труб или каналов. Выход воды из камеры в отстойник осуществляется через затопленный водослив при скорости 0,05 *м/сек*

Эксплуатация вертикальных (вихревых) камер хлопьеобразования и особенно встроенных в отстойник показала преимущество их перед камерами других типов. Рекомендуется принимать при использовании встроенных камер хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка расчетную скорость осаждения в отстойнике (см. табл. 24) на 30% больше при обработке мутных вод на 20% больше при обработке маломутных вод.

При проектировании и расчете вертикальной камеры хлопьеобразования, исходя из производительности технологических сооружений, определяют объемы камеры и площадь ее верхней части (по формулам 43 и 44), задаваясь временем пребывания воды в камере и скоростью отбора воды на основе опыта эксплуатации аналогичного оборудования. Затем определяют габариты широкой и узкой частей камеры, вычисляют их объемы, суммируют и проверяют фактическое время пребывания воды в камере. Проектирование и расчет камер хлопьеобразования с вертикальными стенками упрощаются, так как эти камеры имеют одинаковое сечение по высоте.

§ 28. Механические камеры хлопьеобразования

В механических камерах хлопьеобразования, применяющихся на крупных станциях обработки воды, когда по условиям их расположения оказывается нерациональным использовать другие типы, перемешивание осуществляется при помощи лопастных мешалок с электроприводом, вращающихся вокруг горизонтальных или вертикальных осей.

Наибольшее распространение получили камеры хлопьеобразования с лопастными мешалками, вращающимися вокруг горизонтальных осей при помощи электродвигателя (рис. 27). Расчетная

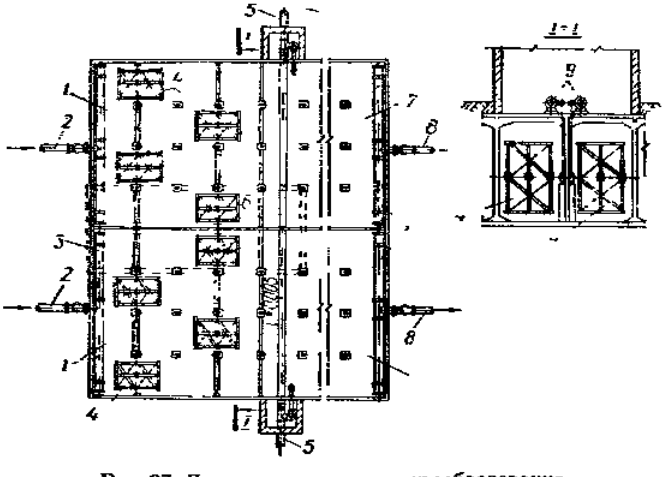


Рис. 27. Лопастная камера хлопьеобразования

1 — камера хлопьеобразования; *2* — подающая труба; *3* — дырчатая труба; *4* — мешалка; *5* — грязевая и переливная трубы; *6* — дырчатая перегородка; *7* — отстойник; *8* — отводящая труба; *9* — электродвигатель

скорость движения воды в них принимается в пределах 0,2—0,5 *м/сек*, а время пребывания воды — 30—60 *мин* (до 60 *мин* принимается время при умягчении воды реагентными методами). Эти камеры устраивают в виде прямоугольного железобетонного ре-

зервуара с двумя-пятью парами мешалок Очень часто их совмещают с горизонтальными отстойниками с разделяющей их вертикальной дь этой перегородь Г ствами мех ческих камер по с нению с камер пе, атого типа яются меньшая потеря напора, простота конструкц возможность более совершенного регул вания сса х ьеобразования путем изменения числа обо ов ле , возм ность последовательной работы нескольких камер хлопьеобразования, что весьма важно при применении смешанных реагентов.

При расчете механических камер хлопьеобразования объем и площадь их определяются по формулам (43) и (44). Длина камеры в *м* определяется из зависимости

$$l = ahn, \qquad (47)$$

где a — коэффициент, равный 1,0—1,5;
h — глубина воды в камере в *м*;
n — число осей с лопастями

Ширина камеры в *м*

$$b = \frac{W_{км}}{lh}. \qquad (48)$$

Скорость горизонтального движения воды в камере определяется формулой

$$v_{ср} = \frac{1000\,l}{60t}. \qquad (49)$$

Число оборотов мешалок в 1 *мин* определяется из условия, что бы окружная скорость в точке, лежащей на середине радиуса мешалки, была равна ср ей скорости движения воды в камере Лопастные мешалки с горизонтальными осями вращаются с окружной скоростью в пределах 0,40—0,55 *м/сек*, в зависимости от качества исходной воды и дозы коагулянта.

Хорошее хлопьеобразование может быть получено при продувании сжатого воздуха через воду в специальной камере реакции На дно такой камеры укладывают решетки из перфорированных труб или г ые плиты Глубина барботажа принимается обычно равн —3,6 *м*, максимально допустимый слой воды — 4,5 *м* Расход воздуха в такой камере составляет примерно 0,15 $м^3$ на 1 $м^2$ площади резервуара

Барботажную камеру реакции снабжают перфорированными трубами или пористыми плитами, уложенными в бетонных лотках на дно камеры в поперечном нап ии к движению воды, расстояние между осями труб равно —1,5 *м*, диаметр отверстий 1,8 *мм* при расстоянии между ними 75— 150 *мм*.

Положительное качество таких камер реакции заключается в гибкости регулирова процесса хлопьеобразования, низкой стоимости и простоте ус и. В них одновременно с хлопьеобразованием производится и аэрирование воды. К недостаткам их следует отнести неравномерное действие воздуха в нижних и верхних

слоях, а также возможность засорения подводящих воздух трубопроводов и отверстий в них, что приводит к перераспределению потока воздуха в толще воды

§ 29. Горизонтальные отстойники

Горизонтальные отстойники (рис 28) представляют собой железобетонные прямоугольные в плане бассейны обычно со встроенными (сое ными) камерами хл еобразования. Они могут устраивать... ..ноэтажными или дву...жными, но без поворота потока воды (по вертикали или горизонтали). Обычно их снабжают продольными вертикальными перегородками, разделяющими весь объем резервуара на ряд параллельных коридоров и предназначенными для уменьшения ширины потока воды и его выравнивания Должно быть предусмотрено гидравлическое или механическое удаление осадка из отстойника без выключения отстойника из работы во время чистки.

В климатических районах страны с продолжительными периодами отрицательных тем...ратур горизонтальные отстойники лишь над местами входа и в...ода воды и частично над самими бассейнами имеют надземные павильоны, эти отстойники с боков и сверху обсыпаются (на 0,6—0,8 *м*) землей и одерновываются. Павильоны

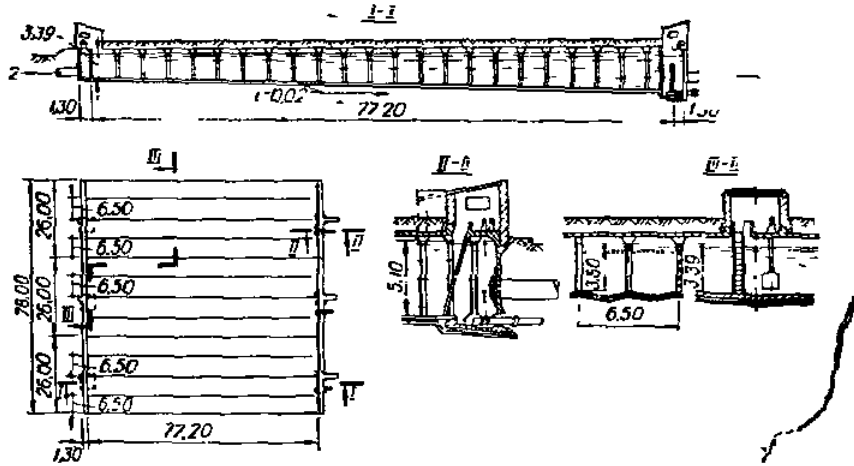


Рис. 28 Конструкция горизонтального отстойника
1 — подвод воды, *2* — отвод воды.

предназначены для размещения запорной арматуры и двигателей в случае механических камер хлопьеобразования, а также для входа в камеры хлопьеобразования и в отстойники В южных районах страны с положительными температурами воды горизонтальные отстойники могут сооружаться открытыми.

В перекрытии горизонтальных отстойников устраивают герметически закрывающиеся люки для спуска в отстойники, а также вентиляционные трубы или коробки и трубы для отбора проб из отстойников (обычно в начале, середине и в конце)

Дно горизонтальных отстойников, не имеющих механизмов для удаления осадков, устраивается с продольным уклоном не менее

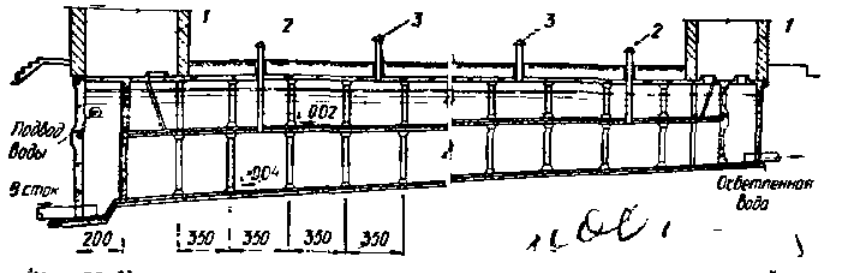


Рис. 29 Конструкция двухэтажного прямоточного горизонтального отстойника
1 — входная часть, *2* — колонки для взятия проб из нижней части отстойника, *3* — вентиляционные колонки.

0,02 в направлении, противоположном движению воды и поперечными уклонами в каждом коридоре не менее 0,05 Время опорожнения отстойника не должно превышать 6 *ч*.

В последнее время проектируются отстойники с периодическим выпуском осадка без остановки их на очистку [58] В таких отстойниках с гидравлическим удалением осадка на дне в лотках располагаются дренажные трубы, уклон дна должен быть не менее 0,005.

Наилучшим способом, обеспечивающим равномерное распределение воды по всему сечению отстойника, является выпуск воды из камеры реакции в отстойник и из отстойника на фильтры через дырчатую перегородку. Такие перегородки устраиваются на расстоянии 1—2 *м* от торцовых стенок, скорость движения воды в отверстиях принимается равной 0,5 *м/сек* В нижней части перегородок на 0,3—0,5 *м* выше зоны накопления и уплотнения осадка отверстий не устраивают. Допускается при соответствующем обосновании поверхностный, рассредоточенный отбор осветленной воды через подвесные желоба или трубы с затопленными отверстиями (скорость движения воды в отверстиях 0,5 *м/сек*) [59—61].

Двухэтажные прямоточные отстойники, в которых благодаря горизонтальным перегородкам, разделяющим бассейн на этажи, уменьшается глубина и соответственно снижается стоимость охватываемой сооружением территории, применяются в случае ограниченной площадки очистных сооружений. Конструкция такого отстойника, работающего на одной из крупнейших отечественных водоочистных станций, приведена на рис. 29 [62]. Вода поступает в отстойник и выходит из него через отверстия, устроенные в передней и задней стенках. Для регулирования расхода воды по этажам часть отверстий в передней стенке заделывают.

При проектировании горизонтальных отстойников необходимую для их расчета скорость выпадения взвеси u_0 следует принимать *на основании результатов технологического анализа, а также опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях*. При отсутствии этих данных для расчетов рекомендуется использовать величины, приведенные в табл. 24, *с учетом колебания качества* воды по сезонам года.

Суммарная площадь горизонтальных отстойников в плане F *м*^{2} определяется по формуле

$$F = \frac{\alpha q}{3{,}6u_0}, \qquad (50)$$

где q — расчетный расход осветленной воды в *м*^{3}/*ч*;

u_0 — скорость выпадения взвеси задерживаемой отстойником в *мм/сек*;

α — коэффициент, учитывающий взвешивающее влияние вертикальной составляющей скорости потока воды в отстойнике [63].

Значение коэффициента α вычисляют, используя зависимости:

$$\alpha = \frac{u_0}{u_0 - \frac{v_{cp}}{30}}; \qquad (51)$$

$$v_{cp} = Ku_0, \qquad (52)$$

где v_{cp} — средняя горизонтальная скорость движения воды в отстойнике, должна быть в пределах 3—12 *мм/сек*,

K — коэффициент, зависящий от принятого отношения длины L отстойника к его глубине H, его величину определяют на основании следующих рекомендованных значений:

L/H	10	15	20	25
K	7,5	10	12	13,5

Расчетная ширина отстойника B в *м* определяется по формуле

$$B = \frac{q}{3{,}6v_{cp}HN}, \qquad (53)$$

где H — средняя глубина зоны осаждения в *м*;

N — расчетное число отстойников.

В *зависимости от высотной схемы* станции обработки воды средняя глубина зоны осаждения в горизонтальных отстойниках принимается равной 2,5—3,5 *м* с учетом дополнительной высоты для приема воды при включении фильтров на промывку (см. стр. 147). При определении количества отстойников, сооружаемых на станции, следует учитывать необходимость отключения их для планового ремонта и чистки (см. стр. 105). Если ширина отстойника получается более 6 *м*, каждый из них делится направляющими перегородками на вертикальные коридоры шириной 3—6 *м* соответственно шагу колонн.

Расчетная длина горизонтального отстойника L в *м* определяется по формуле

$$L = \frac{F}{BN}, \qquad (54)$$

Следует отметить, что вычисленное по формулам отношение L/H должно находиться в пределах рекомендованных величин, приведенных выше. При расчете объема зоны накопления и уплотнения осадка в горизонтальных отстойниках с механизированным удалением осадка следует исходить из габаритных размеров используемых устройств. Для отстойников с гидравлическим способом удаления осадков или удалением их при опорожнении объем зоны накопления и уплотнения осадка $W_{ос}$ определяется по формуле (41), принимая время работы отстойника между сбросами T не менее 24 *ч*. Усредненную концентрацию уплотненного осадка принимают по табл. 25.

Объем зоны накопления и уплотнения осадка в первой половине отстойника должен приниматься в пределах 70—80% общего объема всей зоны, и соответственно, высота этой зоны должна быть наибольшей в начале отстойника и минимальной в его конце. В случаях, когда количество взвешенных веществ в источнике превышает 2500 *мг/л*, может оказаться, что объем зоны накопления и уплотнения осадка, определенный по формуле (41), неприемлем по конструктивным соображениям и технико-экономическим условиям. В этих случаях следует предусматривать предварительное осветление воды с гидравлическим или механическим удалением осадка.

Количество воды, в процентах от расхода обрабатываемой воды, потребляемой при очистке горизонтального отстойника гидравлическим способом или опорожнением $P_{т.о}$, может быть вычислено по формуле

$$P_{т.о} = \frac{K_p W}{24qT} \cdot 100\%, \qquad (55)$$

где K_p — коэффициент разбавления осадка, принимаемый равным 1,1 при опорожнении отстойника и 1,2—1,5 при гидравлическом способе удаления осадка;

W — объем отстойника или зоны накопления осадка в $м^3$ в зависимости от способа очистки отстойника;

q — расчетный расход воды в $м^3/ч$,

T — продолжительность работы отстойника между чистками в сутках.

§ 30. Примеры расчетов камер хлопьеобразования и отстойников

Пример 1. Рассчитать перегородчатую камеру хлопьеобразования с вертикальной циркуляцией воды для очистных сооружений с расчетной производительностью 1250 $м^3/ч$. По высотной схеме очистных сооружений высота камеры хлопьеобразования может быть принята равной 3 *м* с учетом рекомендаций, содержащихся на

стр. 108. Время *пребывания воды в камере принимаем 20 мин*, скорость циркуляции воды в камере—0,2 *м/сек*. По формуле (43) объем камеры

$$W = \frac{1250 \cdot 20}{60} \cong 420 \text{ м}^3,$$

по формуле (44) площадь камеры в плане

$$F = \frac{420}{3} = 140 \text{ м}^2.$$

Площадь одной ячейки по формуле (45)

$$f = \frac{1250}{3600 \cdot 0{,}2} = 1{,}73 \text{ м}^2.$$

Количество ячеек $n = 140 \cdot 1{,}73 = 80$

Размеры ячейки выбираем следующие: ширина 1,30 *м*, длина 1,33 *м*. По ширине камеры размещаем по 8 ячеек.

Число поворота потока в камере

$$m = \frac{80}{8} - 1 = 10 - 1 = 9.$$

Полная ширина камеры хлопьеобразования $B = 8 \times 1{,}3 = 10{,}4$ *м*. Длина камеры $L = 10 \times 1{,}33 = 13{,}3$ *м*.

При определении полных строительных размеров камеры нужно учесть толщину железобетонных перегородок, делящих камеру на ячейки.

Пример 2. Рассчитать перегородчатую камеру хлопьеобразования с горизонтальной циркуляцией воды для очистных сооружений с расчетной производительностью 120 000 *м³/сутки* или 5000 *м³/ч*. Высоту камеры принимаем равной 3 *м*.

На основании формулы (43) определяем объем камеры, принимая время пребывания воды в ней 30 *мин* и скорость циркуляции воды 0,3 *м/сек*

$$W = \frac{5000 \cdot 30}{60} = 2500 \text{ м}^3,$$

площадь камеры по формуле (43)

$$F = \frac{2500}{3} = 833 \text{ м}^2;$$

ширина первого коридора по формуле (45)

$$b_1 = \frac{5000}{3600 \cdot 0{,}3 \cdot 3} \quad 1{,}55 \text{ м}.$$

Учитывая, что камера хлопьеобразования примыкает к торцовой части горизонтальных отстойников, ее длину L желательно принять равной общей строительной ширине отстойников. В нашем примере такая ширина отстойников с учетом толщины стенок внутренних перегородок равна 30,15 *м*. Если принимать число коридоров $n = 11$, то количество поворотов потока $m = n - 1 = 10$.

В пояснении к формуле (45) сказано, что скорость потока воды в камере должна убывать от 0,2—0,3 *м/сек* в ко[illegible] за счет уве[illegible] чения расстояния между перегородками. По формуле (45) при скорости $v=0,3$ *м/сек* ширина коридора определена и равна $b_1=1,55$ *м*.

Если определить скорость с уменьшением в каждом последующем коридоре на 0,02 *м/сек*, то в последнем коридоре, на выходе из камеры, скорость потока будет равна 0,1 *м/сек*. Определим ширину коридоров:

$$b_2=\frac{5000}{3600\ \ 0,28\cdot 3}=1,65\ м;$$

$$b_3=\frac{5000}{3600\ \ 0,26\cdot 3}=1,78\ м;$$

$$b_4=\frac{5000}{3600\cdot 0,24\cdot 3}=1,93\ м;$$

$$b_5=\frac{5000}{3600\cdot 0,22\ \ 3}=2,10\ м;$$

$$b_6=\frac{5000}{3600\ \ 0\ 20\cdot 3}=2,32\ м;$$

$$b_7=\frac{5000}{3600\ \ 0,18\ \ 3}=2,58\ м;$$

$$b_8=\frac{5000}{3600\ \ 0,16\ \ 3}=2,90\ м;$$

$$b_9=\frac{5000}{3600\cdot 0,14\cdot 3}=3,30\ м;$$

$$b_{10}=\frac{5000}{3600\ \ 0,12\cdot 3}=3,88\ м;$$

$$b_{11}=\frac{5000}{2600\ \ 0,10\ \ 3}=4,65\ м.$$

Общую длину камеры хлопьеобразования при толщине внутренних перегородок 0,15 *м* определим

$$1,55+1,65+1,78+1,93+2,10+2,32+2,58+2,90+3,30+$$
$$+3,88+4,65+10\cdot 0,15=30,14\ м$$

Расчетная длина камеры равна

$$L=30,14-1,50=28,64\ м.$$

Ширина камеры в плане, т. е. длина каждого коридора камеры

$$B=F:L=833\cdot 5:28,64=29,4\ м.$$

Г[illegible] средней скорости потока $v=0,2$ *м/сек* потери напора в камере де[illegible]лим по формуле (46)

$$h_к=0,15\ \ 0,2^2\cdot 10=0,06\ м.$$

Пример 3. Рассчитать лопастную камеру хлопьеобразования с горизонтальной осью вращения мешалок. Производительность станции очистки воды с учетом расхода на собственные нужды составляет 5000 *м³/ч*, время пребывания воды в камере 30 *мин*.

По формуле (43) находим объем камеры хлопьеобразования

$$W = \frac{5000 \cdot 30}{60} = 2500 \text{ м}^3.$$

Принимаем 4 камеры хлопьеобразования: объем каждой будет равен

$$2500 : 4 = 625 \text{ м}^3.$$

На основании формул (47) и (48) при двух последовательно расположенных мешалках и высоте камеры $h = 4{,}5$ *м*

длина $l = 1{,}5 \cdot 4{,}5 \cdot 2 = 13{,}5$ *м*;

ширина $b = \frac{625}{13{,}5 \cdot 4{,}5} = 10{,}3$ *м*.

Средняя расчетная скорость горизонтального движения воды в камере по формуле (49) равна

$$v_{ср} = \frac{1000 \cdot 13{,}5}{60 \cdot 30} = 7{,}5 \text{ мм/сек}.$$

Пример 4. Рассчитать горизонтальные отстойники и определить размеры камеры хлопьеобразования вихревого типа, совмещенной с ними, для следующих условий: расход воды с учетом расхода воды на собственные нужды $q = 1500$ *м³/ч* (~418 *л/сек*). Содержание взвешенных веществ в воде $M = 260$ *мг/л*; доза очищенного сернокислого глинозема $Д_к = 45$ *мг/л*; цветность воды $Ц = 90$ *град*; количество нерастворимых примесей от известкования $B_1 = 12$ *мг/л*; количество взвеси в воде, выходящей из отстойника $m = 10$ *мг/л*.

Расчет горизонтальных отстойников

При расчете горизонтальных отстойников принимаем $u_0 = 0{,}45$ (см. табл. 24) и отношение длины отстойника к расчетной глубине $\frac{L}{H} = 20$ и $K = 12$; $v_{ср} = 12 \cdot 0{,}45 = 5{,}4$ *мм/сек*; по формуле (51):

$$a = \frac{u_0}{u_0 - \frac{v_{ср}}{30}} = \frac{1}{1 - \frac{K}{30}} = \frac{1}{1 - \frac{12}{30}} = 1{,}67.$$

Тогда площадь всех отстойников в плане будет равна

$$F = \frac{1{,}67 \cdot 1500}{3{,}6 \cdot 0{,}45} = 1546 \text{ м}^2.$$

Принимаем среднюю глубину отстойника $H = 3$ *м* и по формуле (53) определяем его расчетную ширину при количестве $N = 4$

$$B = \frac{1500}{3{,}6 \cdot 5{,}4 \cdot 3 \cdot 4} = 6{,}44 \text{ м}.$$

Каждый отстойник необходимо разделить направляющей вертикальной перегородкой на 2 отделения по 3,22 *м*.

Расчетная длина горизонтального отстойника может быть определена по формуле (54)

$$L = \frac{1546}{6.44 \cdot 4} \cong 60{,}5 \ м.$$

Отношение длины отстойника к его расчетной глубине

$$L : H = 60{,}5 : 3 \cong 20,$$

т. е. размеры отстойника выбраны правильно.

Когда в отстойнике не предусмотрены приспособления для механического удаления осадка, тогда объем зоны накопления и уплотнения определяется по формуле (41)

$$W_{oc} = \frac{24q\,(c - m)\,T}{N\delta},$$

принимаем $T = 10$ суток.

По формуле (37) определим концентрацию взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник за период между чистками

$$C = 260 + 0{,}55 \cdot 45 + 0{,}25 \cdot 90 + 12 = 319{,}5 \ мг/л;$$

по табл. 25 определяем $\delta = 30\,000$ *г/м*^{3}.

$$W_{oc} = \frac{24 \cdot 1500 \cdot (319{,}5 - 10) \cdot 10}{4 \cdot 30\,000} = 930 \ м^3.$$

Площадь одного отстойника равна $F_1 = 1546 : 4 = 386{,}5$ *м*^{2}.

Средняя высота зоны накопления осадка

$$h_{oc} = \frac{W_{oc}}{F_1} = \frac{930}{386{,}5} = 2{,}42 \ м.$$

Средняя глубина отстойника $H = 3{,}0 + 2{,}42 = 5{,}42$ *м*.

Объем одного отстойника равен $W = L \cdot B \cdot H = 60.5 \cdot 6{,}44 \cdot 5{,}42 = 2110$ *м*^{3}.

Количество воды в процентах от расхода обрабатываемой воды, потребляемой при периодическом сбросе осадка из отстойника, определяется по формуле (55):

$$P_{г.о} = \frac{1{,}1 \cdot 2110 \cdot 100}{24 \cdot 375 \cdot 10} \cong 2{,}6\%.$$

Расчет камеры хлопьеобразования вихревого типа

При времени пребывания воды в камере хлопьеобразования 8 *мин* объем ее по формуле (43)

$$W = \frac{1500 \cdot 8}{60} = 200 \ м^3.$$

Площадь верхней прямоугольной части камеры при скорости отбора воды из нее 5 *мм/сек* или 18 *м/ч* составит

$$F = \frac{1500}{18} = 83 \ м^2.$$

м^3 : м/ч

Длина одной стороны камеры принята равной ширине горизонтальных отстойников с учетом толщины перегородок между секциями 0,15 *м*. Ширина отстойников равна $6{,}44 \cdot 4 + 3 \cdot 0{,}15 = 26{,}2$ *м*; если длина камеры в плане равна 26,2 *м*, то ширина ее составит $83 : 26{,}2 = 3{,}2$ *м*.

Диаметр трубопровода, подводящего воду в камеру хлопьеобразования при расходе 418 *л/сек*, принят 800 *мм* ($v = 0{,}84$ *м/сек*). К подводящему трубопроводу присоединены два трубопровода $d = 600$ *мм* ($v = 0{,}71$ *м/сек*), уложенные по дольной оси дна камеры. Ширину камеры по дну принимаем р ной 0,8 *м*. Приняв угол конусности камеры $\alpha = 50°$, можно определить высоту конической части

$$h_к = \frac{3{,}2 - 0{,}8}{2 \operatorname{tg} 25°} = \frac{2.4}{2 \cdot 0.46} = 2{,}61 \text{ м}.$$

Объем конической части камеры равен

$$W_к = \frac{(3{,}2 + 0{,}8) \cdot 2{,}61 \cdot 26{,}2}{2} = 137 \text{ м}^3.$$

Объем верхней части камеры с вертикальными стенками

$$W_в = 200 - 137 = 63 \text{ м}^3.$$

Высота вертикальных стенок камеры (до уровня сборных отверстий в желобах или порубах) будет равна

$$h_в = 63 : 83 = 0{,}76 \text{ м}.$$

Общая высота камеры $h = 2{,}61 + 0{,}76 = 3{,}37$ *м*.

Вода, пр ная камеру хл разова оокрается в поперечных ... ..., которые под ду в с сборный желоб, расположенный вдоль торцовой стенки отстойников, и подается в отстойники.

Если принять в установке 10 желобов, то расстояние между осями желобов будет равно 2,4 *м*, а от оси крайних желобов до стенки камеры — 1,10 *м*. Принимая скорость движения воды в желобах 0,1 *м/сек*, можно определить площадь одного желоба

$$f_ж = \frac{0{,}418}{10 \cdot 0{,}1} = 0{,}42 \text{ м}^2$$

Принимая ширину желоба 0,7 *м*, получим его глубину $0{,}42 : 0{,}7 = 0{,}6$ *м*.

Пример 5. Рассчитать вертикальные отстойники с совмещенными камерами хлопьеобразования водоворотного типа для очистных сооружений с ра тной производите: остью 2400 $м^3$/*сутки* или 100 $м^3$/*ч* (с учетом расхода воды на с твенные нужды станции). Скорость восходящего потока принимаем равной 0,6 *мм/сек*. Исходя из высотной схемы станции, высота зоны осаждения отстойника принята $H_0 = 5$ *м*. Количество отстойников $N = 2$.

Площадь отстойников состоит из площади камеры хлопьеобразования и площади зоны осаждения

Площадь зоны осаждения одного отстойника по формуле (40) при $\beta=1{,}4$ и $v_p=0{,}6$ *мм/сек* будет равна

$$F=1{,}4\ \frac{100}{3{,}6\ \ 0.6\ \ 2}=32{,}4\ м^2.$$

Площадь камеры хлопьеобразования, если принять время пребывания воды в ней $t=20$ *мин*, определяется по формуле (39),

$$f_{кх}=\frac{100\ \ 20}{60\cdot 0{,}9\cdot 5\cdot 2}=3.72\ м^2.$$

высота камеры $H=0{,}9\ H_0$.
Общая площадь одного отстойника равна

$$F_0=F+f=32.4-3{,}72=36{,}12\ м$$

Диаметр отстойника

$$D=\sqrt{\frac{4\cdot F_0}{\pi}}=\sqrt{\frac{4\cdot 36{,}12}{3{,}14}}=6{,}7\ м.$$

Отношение $D:H_0=6{,}7:5=1{,}34$ (СНиП рекомендуют это отношение в пределах 1—1,5).
Внутренний диаметр камеры хлопьеобразования равен

$$d_к=\sqrt{\frac{4\cdot f}{\pi}}=\sqrt{\frac{4\cdot 3.72}{3{,}14}}=2{,}18\ м.$$

Диаметр трубы, подводящей воду к каждой камере (от смесителя), принят 150 *мм*, при этом скорость подвода воды составляет 0,88 *м/сек* (по СНиП должно быть 0,8—1,0 *м/сек*).
Воду подают в камеру через трубу, снабженную соплом-насадкой. Размещают сопло на расстоянии $0{,}2\ d_к$ от стенки камеры. Диаметр сопла принимают 80 *мм*, при этом скорость выхода воды из него будет равна 3 *м/сек*, что допустимо. Потери напора в сопле по формуле (38) составят $h=0{,}06\ 3^2=0{,}54$ *м*.
Нижнюю осадочную часть вертикального отстойника проектируют с наклонными стенками. Принимая угол наклона стенок к горизонтали $\alpha=55^\circ$, трубу для сброса осадка $d=200$ *мм* (следовательно и выходное отверстие из дна отстойника равно 200 *мм*), можем определить высоту конической осадочной части отстойника

$$h_к=\frac{D-d}{2\ \ tg(90-55)}=\frac{6{,}70-0\ 20}{2\ \ 0{,}7}=4{,}65\ м.$$

Объем конической части

$$W_{ос}=\frac{\pi\ \ h_к}{3}\cdot\left[\left(\frac{D}{2}\right)^2+\left(\frac{d}{2}\right)^2+\frac{D}{2}\cdot\frac{d}{2}\right]=$$

$$\frac{3{,}14\cdot 4{,}65}{3}(11.22+0{,}01\quad 0{,}33)\approx 56\ м^3.$$

По формуле (41) определяем период работы отстойника между сбросами осадка

$$T = \frac{56}{100(319{,}5-10)}\,\frac{2}{}\,\frac{30000}{} \cong 109\ ч \sim 4^1/_2\ суток.$$

Сброс осадка производится без выключения отстойника.
Данные u_0, C, m и δ, входящие в формулу (41), взяты из примера 4.

ГЛАВА VI
ОСВЕТЛИТЕЛИ СО ВЗВЕШЕННЫМ ОСАДКОМ

§ 31. Очистка воды во взвешенном слое осадка

В практике обработки воды широкое распространение получил метод осветления воды от коагулир ых загрязнений, ос ществляемый в специальных сооружени етлителях. В них о абатываемая вода проходит снизу вверх через слой выделяющегося из воды осадка, поддерживая его во взвешенном состоянии [64, 65].

Работа осветлителей со взвешенным слоем осадка основана на явлении контактной коагуляции. Последняя, в отличие от коагуляции, происходящей в свободном объеме, протекает на поверхности сорбента. При этом коллоидные и взвешенные примеси воды сближаются с частицами сорбента и под ствием молекулярных сил прилипают к их поверхности или к ранее осевшим на них частицам примесей. Контактная коагуляция в процессах водообработки характеризуется двумя особ ностями [ ]. Первая из них заключается в относительно быстром извлечении из воды мелких частиц крупными, так как интенс ность ия мелких частиц к крупным значительно бол е, чем ность слипания мелких частиц. Вторая особенность заключается в том, что расход реагента, необходимый для нарушения агрегативной устойчивости загрязняющих воду примесей, может быть меньше, чем это необходимо для коагуляции в свободном объеме.

В практике водоочистки контактная коагуляция осуществляется либо в зернистой з узке, либо в слое взвешенного осадка. При осветлении и обесц ивании воды, обработанной коагулянтами, взвешенный слой формируется из гидроокиси алюминия или железа и представляет собой фильтр, обеспечивающий ускорение процесса осветления воды от взвешенных веществ. При прохождении окрашенных природных вод через массу осадка гидроокиси с полностью неиспользованной адс ой емкостью улучшается обесцвечивание воды. Примене ителей позволяет значительно сократить объем очистных сооружений, улучшить работу фильтров и снизить расход реагентов.

Основными факторами, определяющими интенсивность формирования взвешенного слоя и содержания в нем взвеси, являются качество исходной воды (наличие взвешенных веществ, ее химический состав, температура), гидравлические условия (скорость

восходящего потока воды, распределение ее между зоной осветления и зоной отдел ия осад), а также химич кий состав и структура осадка в сам взвеш ном слое (величи з хлопьев, их прочность и объемный вес) [28].

Исходя из предположения, что взвешенный в восходящем потоке осветляемой воды слой частиц находится в состоянии стесненного осаждения, Д М Минц [28] разработал теоретические предпосылки моделирования процесса удаления гетерофазных примесей в осветлителях.

При проектировании станций обработки воды с осветлителями расчет их необходимо производить на основании технических испытаний с учетом годовых ко. аний качества воды или используя опыт эксплуатации осветлите..., работающих в аналогичных условиях При отсутствии таких данных ско сть восхо щего потока в зоне осветления и коэф циент распр ления воды между зоной осветления и зоной отделения осадка принимают в зависимости от содержания взвешенных веществ в воде по табл 26.

Т в и ц а 26. *Скорость восход го потока воды и коэффициенты распределения в осветлителях*

Количество взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, в *мг/л*	Скорость в дящего потока воды над слоем взвешенного осадка в зоне осветления в *мм/сек* $v_{осв}$		Коэффициент распределения воды K
	в зимний период	в летний период	
10—100	0,5—0,6	0,7—0,8	0,80—0,75
100—400	0,6—0 8	0,8—1,0	0,75—0,70
400—1000	0,8—1,0	1,0—1,1	0,70—0,65
1000—2500	1,0—1,2	1,1—1,2	0,65—0,60

Примечание. В таблице приведены данные для сернокислого алюминия, при обработке воды хлорным или сернокислым железом скорость восходящего потока принимают на 10% выше значений скорости, приведенных в таблице

Осветлители рекомендуется применять на станциях обработки воды с изводительностью более 5 тыс *м³/сутки* для осветления и обесц..ивания природных вод с содержанием взвешенных ве-ц в до 2500 *мг/л* и лк й цветностью.

Во избежание разрушения взвешенного слоя конвекционными потоками и из осадка из осветлителя темпе тура воды не должна изме более чем на 1° в *ч*, а постеп ное изменение температуры воды не должно превышать ±15% в *ч*

При надлежащей эксплуатации осветлители обеспечивают удовлетворительное качество очистки воды (прозрачность не менее 30 *см* по кресту, цветность не более 20 *град* платино-кобальтовой шкалы) Поэтому в некоторых случаях в зависимости от состава исходной воды и требований, предъявляемых к обработанной воде потребителями, осветлители мо применяться без фильтров.

§ 32. Конструкции осветлителей

Осветлители проектируются круглой (диаметр не более 14 *м*) или прямоугольной (площадь не более 150 *м*²) формы в плане. Они хорошо работают без камер реакции, так как формирование хлопьев пр[illegible]цит во взвешенном слое.

При пос[illegible]ии в осветлители воды с добавленными к ней реагентами предусматриваются устройства для выделения воздуха и газов, образующихся при химических реакциях — *воздухоотделители* (см. стр. 98). Скорость *нисходящего потока воды* в них не должна превышать 50 *мм/сек*, время пребывания не менее 1 *мин*.

При подводе воды в осветлители по закрытому трубопроводу в нем устанавливается воздухоотделитель с вантузом.

Вода равномерно распределяется по всему сечению осветлителя при помощи дырчатых каналов и труб, опускными трубами и др. Применять для этих целей дырчатые днища не рекомендуется. Распределительные трубы, во избежание скопления в них воздуха, должны располагаться строго горизонтально.

Осветленная вода собирается с помощью желобов, расположенных у верхней кромки осветлителей. Если площадь осветлителей превышает 12 *м*², дополнительно устраиваются радиальные желоба — 4 при площади до 30 *м*² и 6—8 при большей площади.

Постепенно накапливающийся во взвешенном слое осветлителя осадок отбирается в специальные емкости — осадкоуплотнители, где он уплотняется перед выпуском в водосток. В настоящее время не рекомендуется применять гравита[illegible]ные осадкоуплотнители с отводом избыточного осадка взве[illegible]ного слоя только под действием силы тяжести. Распространение получили конструкции с принудительным отсосом, в которых избыток осадка из взвешен[illegible]о слоя поступает (отсасывается) в осадкоуплотнитель в силу [illegible]ьшей высоты уровня воды в нем, чем в осветлителе. Эта разность уровней обеспеч[illegible]ется непр[illegible]ывным отводом осветленной воды из осадкоуплотн[illegible]еля в общ[illegible]ю сборную систему желобов, отводящих воду из осветлителя на фильтры.

Осадкоуплотнители могут располагаться в осветлителе под рабочим пространством со взвеше[illegible]ным слоем (поддонные осадкоуплотнители), в одной вертик[illegible]ной плоскости с рабочим пространством (вертикальные осадкоуплотнители) и вне пределов осветлителя (выносные осадкоу[illegible]ители).

На рис. 30 показан осветлител[illegible]С с дырчатым дном и поддонным осадкоуплотнителем, получи[illegible]ий распространение при осветлении маломутных вод. Он представляет собой ци[illegible]ский резервуар, разделенный глухим дном на две нерав[illegible]ные ч[illegible] вверху осветлитель с рабочей и защитной зонами высотой по 2—2,5 *м* каждая; внизу осадкоуплотнитель высотой 1,5—2 *м*; между ними зона распределения высотой 0,5—1 *м*. Обрабатываемая вода после смешения с реагентами в смесителе подается по трубопроводу в лоток, являющийся одновременно и воздухоотделителем. Из него по вертикальной центральной трубе через распределитель-

ный цилиндр она поступает в дырчатые трубы, расположенные в *зоне распределения осветляемой воды — пространство, ограниченное* сверху дырчатым двом и снизу сплошным днищем [66, 67]

Уровень слоя взвешенного осадка в рабочей зоне определяется высотой вертикальных осадкоотводящих труб, через которые избыточный осадок отводится в поддонный осадкоуплотнитель. В верхней центральной части его располагается дырчатая кольцевая труба, сое ая стояком с желобом, от им осветленную воду на фильтры Разница уровней воды в кольцевом сбо м ж обе и в рабо зоне ос ите обусловливает принудительный отсос воды из верхней части осадкоуплотнителя, и тем самым осуществляется принудительное удаление осадка в осадкоуплотнитель через осадкоотводящие трубы

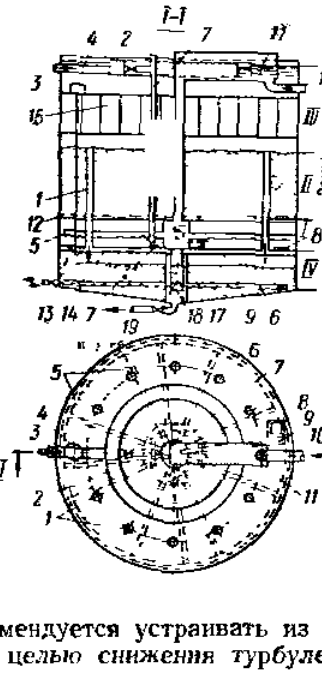


Рис 30 Схема осветлителя ВНИИГС:

1 — осадкоотводные трубы 2 — сб ый желоб для осветленной воды; 3 — тр отвода осветленной воды, 4 — поплавок ка а 5 — распределительные трубы 6 — кольцевая дырчатая труба для выпуска осадка, 7 — труба для отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя 8 — лаз, 9 — радиальная балка, 10 — труба подачи воды с реагентами 11 — радиальный лоток 12 — дырчатое дно 13 — клапан 14 — герметическое дно 15 — центральная труба 16 — ячейки 17 — опорная стойка 18 — щиток 19 — труба выпуска осадка

В пределах защитной зоны рекомендуется устраивать из досок *вертикальные ячейки — клетки — с целью снижения турбулентности* потока и уменьшения возможности выноса взвешенных веществ Сбор осветленной воды осуществляют кольцевым желобом с треугольными вырезами — ослами

Осветлители могут устраи ься квадратными или круглыми в плане со сторонами или диаметром не более 15 *м*. Это одна из конструкций етлите с дырчатым д , которая используется при осв зии и бесцвечивании утных вод. Такие осветлители удовлетворительно работают на водоочистных станциях водопроводов Ленингр и Го ого на вс с цветностью до 200 *град и содержанием взвешенны ществ* до 300 *мг/л*.

Осветлителям конструкции ВНИИГС присущи следующие недостатки:

завалы осадка в плоскости дырчатого дна при большой мутности осветляемой воды;

неудовлетворительное удаление уплотненного осадка с почти плоского дна осадкоуплотнителя;

большая высота всего сооружения

Эти недостатки в некоторой степени устранены в осветлителях, разр[illegible]танных институтом Гип[illegible]фть совместно с институтом [illegible]ДГЕО [68] Они предста[illegible]ой железобетонные квадратные в плане сооружения, в которых конструктивно объединены центральный отбор осадка из взвешенного слоя с поддонным осадкоуплотнителем Разрез такого осветлителя приведен на рис. 31.

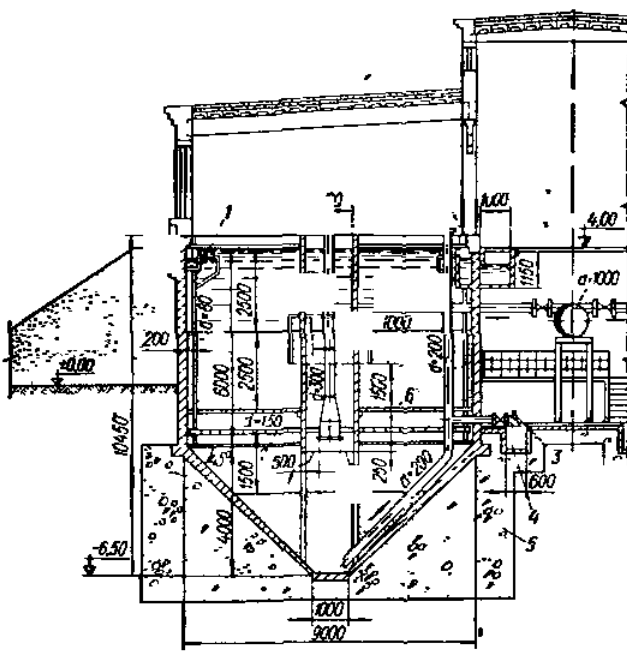


Рис 31 Схема осветлителя конструкции института «Гипроспецнефть»

1 — труба для принудительного отсоса воды из осадкоуплотнителя, *2*— шибер *3* — штуцер для присоединения насоса, *4* — лоток *5* — бетонное основание; *6* — дырчатое дно, *7* — система распределительных труб.

Очищенная вода с добавленными к ней реагентами поступает через центрально расположенную подводящую трубу с воздухоотделителем в систему дырчатых распределительных труб, находящихся в междудонном пространстве. Пройдя ложное дно, слой взвешенного ос[illegible]ка и з[illegible]тную зону, осветленная вода с помощью периферий[illegible]ь сборн[illegible]ь желоба отводится на фильтры. Избыток осадка из [illegible]ешенного слоя через окна, снабженные зонтичной конструкц[illegible], отсасывается в [illegible]тральную трубу и затем в поддонное пр[illegible]ранство. Уплотнен[illegible]осадок удаляется под гидростатическим напором воды в осветлителе Предусмотрен отвод в сборнике желоба осветленной воды из осадкоуплотнителя. Такие осветлители успешно применяют на нефтепромыслах Татарской АССР

для осветления воды с содержанием взвешенных веществ до 1500 *мг/л*, используемой при з[illegible]нии нефтяных пластов

В институте ВОДГЕО разр[illegible]ны также осветлители диффузорного типа с поддонным осадкоуплотнителем, предназначенные для станций умягчения и осветления воды производительностью до 5 тыс. *м³/ч* и более (рис. 32). В них отсутствуют дырчатые дни-

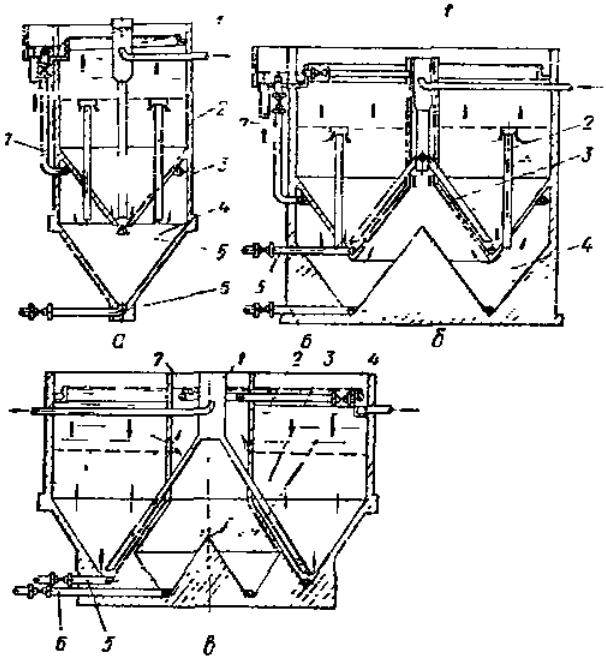


Рис 32. Схемы осветлителей диффузорного типа с поддонными и вертикальным осадкоуплотнителями

а — малой производительности, *б* — сре[illegible] производит[illegible]ости *в* — большой производительности *1* — воз[illegible]отделители *2* [illegible]адкоотводные трубы или окна, *3* — опускные [illegible]водящие тр[illegible] *4* — осадкоуплотнитель, *5*, *6* — выпуски для осадка, *7* — отвод воды из осадкоуплотнителей.

ща и вода распределяется при помощи опускных труб Принудительный отсос осадка из взв[illegible]ого слоя в [illegible]й осадкоуплотнитель осуществляется [illegible]адкоотводя[illegible]ы [10, 69].

На станциях осветления и обесцвечивания воды большой производительности используют осветлители ко[illegible]дорного типа с вертик[illegible]ными осадкоуплотнителями [10, 69] [illegible]работанные ГПИ Союзводоканалпроект и пригодные для [illegible]аботки природных вод с большой м[illegible]остью (рис. 33). В них устранены дырчатые днища, а для улучш[illegible]я гидродинамических условий работ[illegible] взвешенного слоя нижние части [illegible]струк[illegible] вып[illegible]ены с на[illegible]тен-

ками, что позволяет повысить на этом участке скорость восходящего потока воды в 7—8 раз по сравнению с расчетной скоростью движения потока в верхнем сечении. В результате чего во взвешенный слой попадают более крупные частицы, обычно отлагающиеся на дне и обусловливающие заиливание всего сооружения. Осветлители этого типа представляют собой прямоугольные в плане желе бетонные резервуары, разд ные перегородками на коридоры. Между двумя секци ями со взвешенным осадком расположен вертикальный осадкоуплотнитель с принуди тельным отсосом осадка. Рас ширенное пространство в его нижней части благоприятствует отделению осадка из суспензии, отсасываемой из взвешенного слоя.

В качестве воздухоотделите ля в коридорных осветлителях

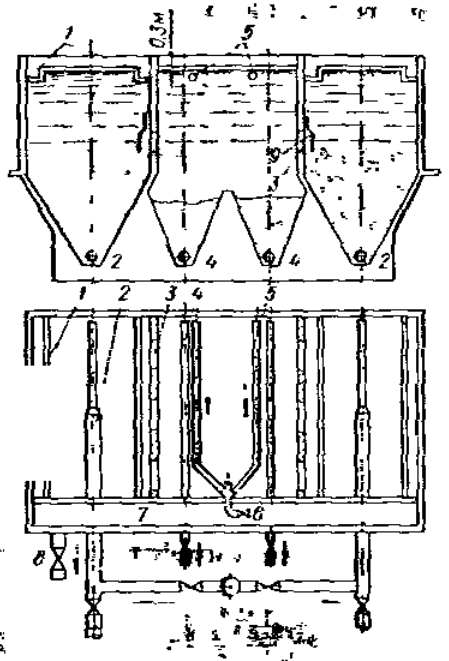


Рис. 33. Схема осветлителя коридорного типа

1 — сборные желоба, *2* — подача осветля емой коды, *3* — осадкоприемные окна, *4* — дырчатые трубы для отвода осадка, *5* — труба для отвода воды из уплотнителя, *6* — задвижка регуля прицудительный отсос воды из осадкоуплотните ля, *7* — карман, *8* — отвод осветленной воды; *9* — козырьки осадкоприемных окон.

может быть использован смеситель (см. стр 95) или распределительный, подводящий воду, канал. Смешанная с введенными реагентами вода равномерно распределяется по длине рабочих отсеков при помощи уложенных по дну осветлителей дырчатых труб телескопического очертания; при умягчении для подвода воды в осветлители используют опускные трубы (рис 34). Осветленная вода отбирается через затопленные отверстия в желобах, расположенных вдоль длинных стенок ветлителей, и поступает в карман, а из него отводится по т оводу на фильтры

Для создания пр гельного отсоса избытка осадка из взвешенного слоя через окна в осадкоуплотнители осуществляется постоянный отбор из их верхней части осветленной воды посредством затопленных дырчатых труб, подключенных к карману осветлителя. При помощи регулирующих задвижек обеспечивают такой отбор воды из осадкоуплотнителей, чтобы уровень воды в них был несколько ниже, чем ур ь воды в осветлителях. Эта разница уровней всегда будет обе ечивать принудительный постоянный отбор избытка осадка из взвешенного слоя осветлителей. Частицы

взвеси, поступающие в осадкоуплотнитель, под влиянием силы тяжести выпадают на дно. Уплотненный осадок выпускается по уложенным у дна дырчатым трубам в промканализацию или при повторном использовании продувочной воды — в аккумулирующие резервуары. С целью предотвращения подсоса осветленной воды

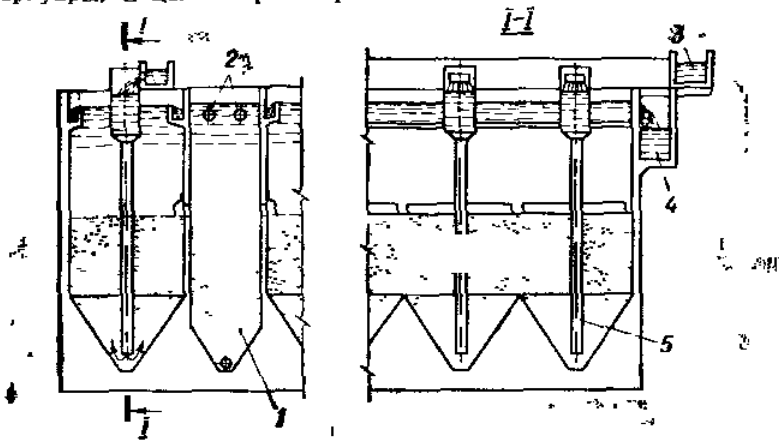


Рис. 34. Схема осветлителя коридорного типа с распределением воды опускными трубами

1 — осадкоуплотнитель, *2* — отсос осветленной воды из осадкоуплотнителя, *3* — распределительный лоток, *4* — сборный канал осветленной воды, *5* — опускные распределительные трубы

в осадкоуплотнители через окна над ними устанавливают специальные защитные козырьки (рис. 35).

Благодаря прямоугольной в плане форме коридорных осветлителей достигается наиболее простая компоновка фильтровальной станции. Осветлители конструкций Союзводоканалпроекта в настоящее время получили наибольшее распространение в типовых проектах фильтровальных станций производительностью до 50—100 тыс. $м^3$/сутки.

Значительный интерес для очистки воды с одновременным ее умягчением и обескремниванием представляют осветлители ЦНИИ-1 и ЦНИИ-2, разработанные центральным научно-исследовательским институтом Минтрансстроя по [illegible] общения СССР [70]. Осветлитель ЦНИИ-1 с непрерывной [illegible] ой выносного осадкоуплотнителя, рассчитан для обработки воды 125—200 $м^3/ч$, осветлитель ЦНИИ-2 с периодическим выпуском осадка из центрально расположенного осадкоуплотнителя имеет производительность в пределах 100—130 $м^3/ч$.

В осветлителе ЦНИИ-1 (рис. 36) вода из источника водоснабжения по трубопроводу поступает в воздухоотделитель, откуда через предохранительную решетку направляется в зону смешения и распределения, находящуюся в нижней конической части. Очищаемая вода подводится тангенциально при помощи сопел. Одно-

временно в коническую часть подается раствор реагентов по радиально расположенным трубопроводам. Далее вода с раствором реагента проходит через горизонтальные и вертикальные смесительные перегородки и поступает в зону сорбционной сепарации и регулирования структуры и возраста шлама. Осветленная вода

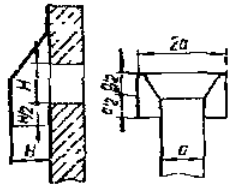


Рис. 35. Схема козырьков к осадкоотводным окнам и трубам.

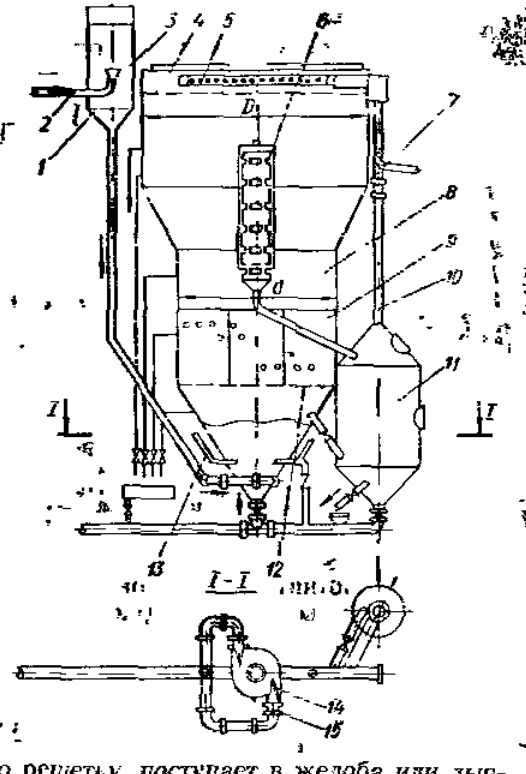


Рис. 36. Осветлитель типа ЦНИИ-1:

1 — предохранительная решетка; *2* — трубопровод для подачи воды; *3* — воздухоотделитель; *4* — дренажная решетка; *5* — сборная труба; *6* — конструкция для секционного отбора осадка; *7* — трубопровод осветленной воды; *8* — зона взвешенного слоя; *9* — вертикальные смесительные перегородки; *10* — труба для отвода воды из осадкоуплотнителя; *11* — осадкоуплотнитель; *12* — горизонтальная смесительная перегородка; *13* — трубопровод подачи реагентов; *14* — зона смешения; *15* — сопла

проходит через дренажную решетку, поступает в желоба или дырчатые трубы и трубопроводом отводится на фильтры. Дренажная решетка, создавая гидравлическое сопротивление, повышает устойчивость шламового фильтра и снижает опасность инерционного выноса из него взвешенных веществ при резких колебаниях температуры воды или производительности осветлителя.

Осветлитель ЦНИИ-1 имеет зональный отвод осадка в виде специальной конструкции для регулирования высоты его отбора из взвешенного слоя в осадкоуплотнитель. Отвод постаревшего шлама из центральной зоны предотвращает возможное загнивание органических веществ, имеющихся в обрабатываемой воде, что улучшает качество ее очистки. В этой конструкции осветлителя также используется принцип принудительного отсоса избытка осадка из взвешенного слоя в осадкоуплотнитель с помощью гидравлической системы: водосбросного желоба, трубопровода возврата осветлен-

ной воды из осадкоуплотнителя и коробка с устройством для замера расходов воды. Осадкоуплотнитель в осветлителе ЦНИИ-1 вынесен за пределы осветлителя. Он представляет собой ци ндрический напорный отстойник с водораспределительной ре етки, продувка шлама — непрерывная. Осветлители ЦНИИ могут изго- я железными или же инными.

Схема напорного осветлите ля реболы ї п зводитель ности с бын..лым ..адкоуплотнителем и принудительным отбором осадка из взвешенного слоя приведена на рис. 37.

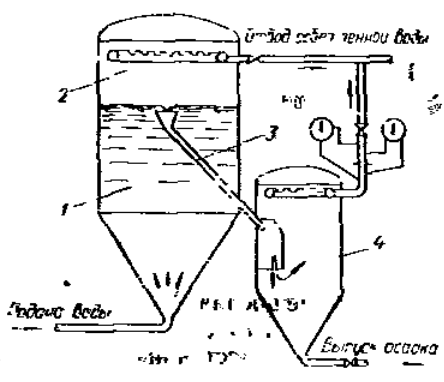


Рис. 37. Схема напорн осветлителя с выносным осадк отнителем.
1 — взвешенный слой осадка; *2* — зона осветленной воды; *3* — воронка для отвода осадка; *4* — осадкоуплотнитель

В зарубежной практике получили распространение осветлители с вертик ьными мешалочными ка ами хлопь и осадкоу тнителями гравитацион о типа с м нем отставания (пресипитаторы, акселейторы, реактиваторы и др.). Очень интересным является э эле ание во Франции осветлителей пульсаторов, пульсирующее движение воды во взвешенном слое осадка у лучшает его перемешивание и повышает эффективность работы осветлителей [71].

§ 33. Расчет основных элементов осветлителей

При проектировании станций обработки воды с осветлителями скорость восходящего потока воды в зоне осветления $v_{осв}$ в *мм/сек* принимается по сезону наименьшего содержания взвешенных веществ в обрабатываемой воде с учетом умен ения ее расчетного расхода в холодное время года. Коэффициент распределения воды K между зоной осветления и отделения осадка определяется для периода с бо ьшей величиной расчетного расхода и соответствующего это сезону максимального содержания взвешенных веществ в воде [1].

Площадь осветлителя с вертикальным осадкоуплотнителем (коридорного типа) F в $м^2$ определяется по формуле

$$F = F_{осв} \quad F_{отд} = \frac{Kq}{3{,}6\ v_{осв}} + \frac{(1-K)\,q}{3{,}6 a v_{осв}}, \qquad (56)$$

где $F_{осв}$ — площадь зоны осветления в $м^2$;
$F_{отд}$ — площадь зоны отделения осадка в $м^2$;
K — коэффициент распределения воды между зоной осветления и осадкоуплотнителем (см. табл. 26);

q — расчетный расход осветляемой воды в $м^3/ч$;

$v_{осв}$ — скорость восходящего потока воды в зоне осветления в *мм/сек* (см. табл. 26);

α — коэффициент снижения скорости восходящего потока воды в зоне отделения осадка вертикального осадкоуплотнителя по сравнению со скоростью восходящего потока воды в зоне осветления, принимается равным 0,9.

Площадь осветлителя с поддонным осадкоуплотнителем (без дырчатого дна) F_0 в $м^2$ определяется по формуле

$$F_0 = F_{осв} + f_{щ.о} = \frac{Kq}{3{,}6v_{осв}} + \frac{(1-K)q}{3{,}6v_{щ.о}}, \qquad (57)$$

где $f_{щ.о}$ — суммарная площадь сечения осадкоотводящих труб в $м^2$;

$v_{щ.о}$ — скорость движения воды с осадком в осадкоотводяших трубах, принимается равной 40—60 *мм/сек*;

Остальные обозначения прежние.

Высоту слоя взвешенного осадка принимают равной 2,5 *м*, она соответствует расстоянию между горизонтальным сечением, расположенным на отметке нижней кромки осадкоприемных окон или верхней кромки осадкоотводящих труб, и горизонтальным сечением в нижней части зоны взвешенного осадка, ограниченной наклонными стенками, в котором скорость восходящего потока воды не превышает 2 *мм/сек*. Нижняя кромка осадкоприемных окон или верхняя кромка осадкоотводящих труб должна располагаться не менее чем на 1—1,5 *м* выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные. Угол между наклонными стенками в нижней части зоны взвешенного осадка принимают в пределах 50—70°. Высота зоны осветления должна быть равна 1,5—2 *м*, меньшее значение высоты принимается для мутных вод, большее — для цветных вод.

Объем зоны накопления и уплотнения осадка (осадкоуплотнителя) $W_{з.у}$ в $м^3$ рассчитывают по формуле

$$W_{з.у} = \frac{q(C-\tilde{m})}{\delta_{ср}N} \cdot T, \qquad (58)$$

где C — максимальное количество взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель за расчетный период в *мг/л*, определяется по формуле (37);

m — содержание взвеси в воде после осветлителя — 8—12 *мг/л*;

T — время уплотнения осадка в осадкоуплотнителе в *ч*, принимается равным 3—12 *ч*, меньшее время для вод с содержанием взвешенных веществ более 400 *мг/л*, большее — для цветных и маломутных вод;

$\delta_{ср}$ — средняя концентрация взвешенных веществ в осадкоуплотнителе при расчетном времени уплотнения (см. табл. 25);

N — расчетное число осветлителей.

В тех случаях, когда указанное в таблице время уплотнения для принятой конструкции осветлителя не может быть обеспечено, необходимо предусматривать сооружения для предварительного осветления воды или изменять соотношение конструктивных частей осветлителя.

Сбрасывать уплотненный осадок из осадкоуплотнителя (продувать осветлитель) можно периодически или непрерывно. Процент воды, расходуемой при сбросе осадка, подсчитывают по формуле

$$P_{o.c} = \frac{C - m}{\delta_{ср}} \cdot 100\%. \qquad (59)$$

Распределять осветленную воду по площади осветлителя рекомендуется дырчатыми каналами или трубами, опускными трубами или другими устройствами, которые обеспечивают ее равномерное распределение по всему сечению. Скорость движения воды при входе в распределительные дырчатые трубы или каналы принимается в пределах 0,4—0,6 *м/сек*, средняя скорость выхода воды из отверстий в них должна быть порядка 1,5—2 *м/сек*, диаметр отверстий принимают равным 15—25 *мм*. Расстояние между отверстиями, направленными вниз под углом 45° к вертикали или горизонтально, должно быть не более 500 *мм*. Расстояние между распределительными трубами принимают равным не более 3 *м*.

Для опускных труб скорость движения воды в них, а также в щели между нижней кромкой труб и наклонными стенками осветлителя принимают в пределах 0,6—0,7 *м/сек*.

При расчете площади осадкоприемных окон в осветлителях с вертикальными осадкоуплотнителями скорость движения воды с осадком в них принимают равной 10—15 *мм/сек*, а скорость движения воды с осадком в осадкоотводящих трубах в осветлителях с поддонными осадкоуплотнителями следует принимать в пределах 40—60 *мм/сек* (большие значения скорости принимают для вод, содержащих преимущественно минеральную взвесь).

Сбор осветленной воды в осветлителе осуществляют при помощи желобов с треугольными вырезами или затопленными отверстиями. Сечение сборных желобов рассчитывают, исходя из скорости движения в них воды 0,6—0,7 *м/сек*. Диаметр затопленных отверстий в желобах принимают 20—30 *мм*, скорость движения в них воды — 1 *м/сек*. Треугольные водосливы делают высотой 40—60 *мм* с расстоянием между осями 100—150.

Расстояние между сборными желобами в коридорных осветлителях должно быть не более 3,5 *м*. В круглых осветлителях с поддонными осадкоуплотнителями с площадью до 12 $м^2$ сбор воды производится только периферийными желобами. При большей площади осветлителей дополнительно к периферийным устраивают радиальные желоба — 4 при площади до 30 $м^2$ и 6—8 при большей площади.

Осветленную воду в осадкоуплотнителях собирают при помощи дырчатых труб или лотков с затопленными отверстиями. Площадь поперечного сечения труб выбирают с таким расчетом, чтобы ско-

рость движения воды в них не превышала 0,5 *м/сек*, скорость входа воды в отверстия дырчатой трубы должна быть не менее 1,5 *м/сек*, диаметр отверстий принимают равным 10—20 *мм*

В вертикальных осадкоуплотнителях сборные дырчатые трубы располагают таким образом, чтобы их верхняя образующая была бы не менее чем на 300 *мм* ниже уровня воды в осветлителе и не менее чем на 1,5 *м* выше верха осадкоприемных окон

В поддонных осадкоуплотнителях эти трубы помещают под перекрытием. Расход осветленной воды, отбираемой из осадкоуплотнителя, регулируют при помощи задвижек или шиберов, устанавливаемых в конце сборных труб или лотков при выходе в сборный канал.

Расчетная разность уровней воды при ее поступлении в осветлитель и на выходе из него осветленной воды состоит: из потерь напора в распределительных трубах (или каналах), включая отверстия в них; из потерь напора в слое взвешенного осадка; из потерь напора в сборных трубах или лотках и перепада уровней между сборными трубами или каналами и общим сборным каналом осветлителя.

Потери напора h в *м* в распределительных и сборных трубах или каналах, а также в затопленных отверстиях сборных лотков определяются по формуле

$$h = \xi \frac{v^2}{2g}, \qquad (60)$$

где ξ — коэффициент сопротивления, для распределителей трубы или канала $\xi = \frac{2,2}{K} + 1$, для сборной трубы или канала, работающего полным сечением $\xi = \frac{3,3}{K^{1,8}}$, для отверстий $\xi = 2$;

K — отношение суммы площадей сечения отверстий в стенках распределительной трубы или канала к площади сечения трубы или канала, принимается равным 0,3—0,4;

v — скорость движения воды в начале дырчатого участка распределительной трубы или в конце сборной трубы (канала) в *м/сек*;

g — ускорение силы тяжести, равно 9,81 *м/сек*.

Перепад отметок уровня между низом сборной трубы или лотка и уровнем воды в сборном канале осветлителя принимают не менее 0,4 *м*. Потери напора в коммуникациях до и после дырчатых участков труб или каналов учитывают отдельно.

Потери напора в слое взвешенного осадка принимаются 1—2 *см* на каждый метр взвешенного слоя в зависимости от количества взвешенных веществ в воде, поступающей на осветлитель (2 *см* принимается для воды, содержащей 1 000 *мг/л* взвеси).

Осадок из осадкоуплотнителя удаляют системой дырчатых труб или осадкоотводным патрубком. Диаметр дырчатых труб рассчитывают из условия отведения накопившегося в течение 15—20 *мин*

осадка; минимальный диаметр таких труб равен 150 *мм*. Расстояние между стенками соседних труб или каналов должно быть не более 3 *м*. Скорость движения осадка в отверстиях дырчатых труб принимается равной не менее 3 *м/сек*, скорость в конце дырчатой трубы — не менее 1 *м/сек*, диаметр отверстия в трубе — не менее 20 *мм*, расстояние между их осями — не более 500 *мм*. Для обеспечения полного удаления осадка из осадкоуплотнителя угол между его наклонными стенками должен быть порядка 50—70°.

Для уменьшения равномерной нагрузки на днищевое дно поддонный осадкоуплотнитель должен иметь сообщение с зоной взвешенного осадка осветлителя, автоматически открывающееся при понижении уровня воды в осветлителе ниже верха осадкоотводящих труб.

§ 34. Пример расчета осветлителей

Рассчитать осветлитель коридорного типа с вертикальным осадкоуплотнителем для станции обработки воды производительностью 500 $м^3/ч$. Очищается вода поверхностного источника с максимальным содержанием взвешенных веществ 400 *мг/л*, цветностью 60 *град* и щелочностью 2,5 *мг-экв/л*. Доза безводного сернокислого алюминия составляет 100 *мг/л*, доза извести — 40 *мг/л*.

При четырех осветлителях производительность каждого из них равна

$$q_{осв} = \frac{500}{4} = 125\ м^3/ч = 0{,}0347\ м^3/сек = 34{,}7\ л/сек.$$

Количество взвешенных веществ в воде, подаваемой в осветлитель, по формуле (37)

$$C = 400 + 100 \cdot 1 + 0{,}25 \cdot 60 + 0{,}8 \cdot 40 = 547\ мг/л.$$

В примере принято, что 80% извести выпадает в осадок.

По табл. 26 при расчетную скорость восходящего потока воды над слоем осадка в зоне осветления $v_{осв} = 1{,}0$ *мм/сек* и коэффициент распределения воды между осветлителем и шламоуплотнителем $K = 0{,}7$.

По формуле (56) площадь зоны осветления равна

$$F_{осв} = \frac{0{,}7 \cdot 125}{3{,}6 \cdot 1} = 24{,}3\ м^2.$$

Площадь зоны отделения осадка при коэффициенте снижения скорости восходящего потока воды в ней по сравнению со скоростью потока воды в зоне осветления $\alpha = 0{,}9$.

$$F_{отд} = \frac{(1 - 0{,}7) \cdot 125}{3{,}6 \cdot 0{,}9 \cdot 1} = 11{,}6\ м^2$$

Общая площадь осветлителя

$$F = F_{осв} + F_{отд} = 24{,}3 + 11{,}6 = 35{,}9\ м^2.$$

При длине осветлителя 4,5 *м* (по условиям компоновки здания) ширина секции зоны осветления равна $b_{кор} = \frac{24{,}3}{2 \cdot 4{,}5} = 2{,}7$ *м*, а ширина

вертикального осадкоуплотнителя определится $b_{о.у}=\frac{11,6}{4,5}=2,6$ *м*.

Принимаем вначале диаметр коллектора для подвода воды в каждый коридор осветлителя равным 200 *мм* и со второй половины 150 *мм*. При этом скорость воды в начале коллектора составит 0,57 *м/сек*, а в начале второй половины телескопической трубы 0,5 *м/сек*, что соответствует данным, приведенным на стр. 135. Площадь отверстий при скорости воды в них 2 *м/сек* равна

$$\frac{0,0347}{2 \cdot 2} = 0,0087 \ м^2.$$

При диаметре отверстий 20 *мм* количество их будет равно

$$\frac{0,0087}{0,000314} \cong 28 \text{ шт.}$$

Отверстия располагаем в два ряда, тогда при длине осветлителя 4,5 *м* расстояние между ними (шаг) будет равно

$$\frac{2 \cdot 4,5}{28} = 0,321 \ м = 321 \ мм.$$

Сбор осветленной воды из каждого коридора производится двумя желобами прямоугольного сечения. Их габариты определяются из соотношений:

$$x = 0,45 \ q_{ж}^{0,4}; \ h_{нач} = 1,5x; \ h_{кон} = 2,5x,$$

где x — половина ширины желоба;

$h_{нач}$ и $h_{кон}$ — высота желоба в начале и в конце.

Расход воды на каждый желоб

$$q_{ж} = \frac{K(q_{расч} : 4)}{2 \cdot 2} = \frac{0,7(500 : 4)}{4} = 21,9 \ м^3/ч = 0,006 \ м^3/сек.$$

Принимая, что отверстия в желобах находятся на 7 *см* ниже кромки, находим:

$$x = 0,45 \cdot 0,006^{0,4} \cong 6 \ см;$$

$$h_{нач} = 7 + 1,5 \cdot 6 = 16 \ см;$$

$$h_{кон} = 7 + 2,5 \cdot 6 = 22 \ см.$$

Суммарная площадь отверстий на каждом желобе определяется по скорости движения воды через отверстия. Согласно указаниям на стр. 125, принимаем скорость движения воды в отверстиях равной 1 *м/сек*, $f_{отв.ж} = 0,006 : 1 = 0,006 \ м^2$.

При диаметре отверстий 20 *мм* количество их равно.

$$n = \frac{4 \cdot 0,006}{3,14 \cdot (0,02)^2} = 19 \text{ шт.}$$

Шаг отверстий при длине желоба 4,5 *м* равен

$$4,5 : 19 = 0,236 \ м = 23,6 \ см.$$

Для отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя устанавливаем две перфорированные трубы (диаметром 125 *мм*) на 0,3 *м* ниже уровня воды. Расход воды через каждую из них составляет

$$\frac{125\,(1-0{,}7)}{2}=18{,}75\ м^3/ч=5{,}2\ л/сек.$$

При этом скорость на выходе из труб равна 0,39 *м/сек*, что вполне допустимо.

Площадь отверстий в каждой сборной дырчатой трубе при скорости воды 1,5 *м/сек* должна быть равна 0,0035 $м^2$ или 35 $см^2$, при $d=20$ *мм* число их $n=11$. Шаг отверстий равен $4{,}5:11=0{,}41$ *м*. Высоту осветлителя находим из выражения

$$h_{осв}=\frac{b_{кор}-4x}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}=\frac{2{,}70-4\cdot 0{,}006}{2\cdot 0{,}236}\cong 5{,}2\ м,$$

где α — центральный угол, образованный прямыми, проведенными от оси водораспределительного коллектора к верхним точкам кромок водосборных желобов (α не должно быть более 30°); в примере $\alpha=26°36'$.

Высота пирамидальной части осветлителя составляет:

$$h_{пир}=\frac{b_{кор}-a}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha_1}{2}}=\frac{2{,}7-0{,}30}{2\cdot 0{,}6009}\cong 2{,}0\ м,$$

где a - размер дна осветлителя под коллектором;

α_1 — угол наклона стенок коридора; в примере $\alpha_1=62°$.

При толщине защитного слоя 1,5 *м* и высоте осадкоотводных окон 0,2 *м* размер вертикальных стенок осветлителя в пределах взвешенного слоя будет равен

$$h_{верт}=5{,}2-0{,}2-1{,}5-2{,}0-1{,}5\ м,$$

а общая высота зоны взвешенного осадка будет равна

$$h_{в.о}=h_{верт}+\frac{h_{пир}}{2}=1{,}5+\frac{2{,}0}{2}=2{,}5\ м,$$

что соответствует нормативным данным.

Рабочий объем осадкоуплотнителя (до отметки уровня взвешенного слоя) равен

$$W=l_{ко}\left(b_{о.у}h_{верт}+2\frac{h_{пир}\,0{,}5b_{о.у}}{2}\right)=4{,}5\left(2{,}6\cdot 1{,}5+\frac{2\cdot 1{,}70\cdot 0{,}5\cdot 2{,}6}{2}\right)=$$
$$=27{,}5\ м^3.$$

Количество взвешенных веществ, поступающих в осадкоуплотнитель, составляет

$$q_{ос}=Cq_{расч}=0{,}547\cdot 125=68{,}4\ кг/ч.$$

Время накопления осадка при этом составит

$$T=\frac{W\delta_{ср}}{q_{ос}}=\frac{27{,}5\cdot 25}{68{,}4}\cong 10\ ч>4\ ч.$$

Средняя концентрация осадка при продолжительности уплотнения 4 *ч* и при $C=547$ *мг/л* — $\delta_{ср}=25$ $кг/м^3$ (см. табл. 25). Действи-

вертикального осадкоуплотнителя определится $b_{осв} = \frac{11,6}{4,5} = 2,6$ *м*.

Принимаем вначале диаметр коллектора для подвода воды в каждый коридор осветлителя равным 200 *мм* и во второй половины 150 *мм*. При этом скорость воды в начале коллектора составит 0,57 *м/сек*, а в начале второй половины телескопической трубы 0,5 *м/сек*, что соответствует данным, приведенным на стр. 135. Площадь отверстий при скорости воды в них 2 *м/сек* равна

$$\frac{0,0347}{2 \cdot 2} = 0,0087 \ м^2.$$

При диаметре отверстий 20 *мм* количество их будет равно

$$\frac{0,0087}{0,000314} \approx 28 \text{ шт}$$

Отверстия располагаем в два ряда, тогда при длине осветлителя 4,5 *м* расстояние между ними (шаг) будет равно

$$\frac{2 \ 4,5}{28} = 0,321 \ м = 321 \ мм.$$

Сбор осветленной воды из каждого коридора производится двумя желобами прямоугольного сечения. Их габариты определяются из соотношений:

$$x = 0,45 \ q_ж^{0,4}; \ h_{нач} = 1,5x; \ h_{кон} = 2,5x,$$

где x — половина ширины желоба;

$h_{нач}$ и $h_{кон}$ — высота желоба в начале и в конце.

Расход воды на каждый желоб

$$q_ж = \frac{K(q_{расч} + 4)}{2 \ 2} = \frac{0,7(500 + 4)}{4} = 21,9 \ м^3/ч = 0,006 \ м^3/сек.$$

Принимая, что отверстия в желобах находятся на 7 *см* ниже кромки, находим:

$$x = 0,45 \cdot 0,006^{0,4} \sim 6 \ см;$$

$$h_{нач} = 7 + 1,5 \cdot 6 = 16 \ см;$$

$$h_{кон} = 7 + 2,5 \cdot 6 = 22 \ см.$$

Суммарная площадь отверстий на каждом желобе определяется по скорости движения воды через отверстия. Согласно указаниям на стр. 125, принимаем скорость движения воды в отверстиях равной 1 *м/сек*, $f_{отв\ ж} = 0,006 : 1 = 0,006 \ м^2$.

При диаметре отверстий 20 *мм* количество их равно

$$n = \frac{4 \cdot 0,006}{3,14 \cdot (0,02)^2} = 19 \text{ шт.}$$

Шаг отверстий при длине желоба 4,5 *м* равен

$$4,5 : 19 = 0,236 \ м = 23,6 \ см$$

Для отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя устанавливаем две перфорированные трубы (диаметром 125 *мм*) на 0,3 *м* ниже уровня воды. Расход воды через каждую из них составляет

$$\frac{125(1-0,7)}{2} = 18,75\ м^3/ч = 5,2\ л/сек.$$

При этом скорость на выходе из труб равна 0,39 *м/сек*, что вполне допустимо

Площадь отверстий в каждой сборной дырчатой трубе при скорости воды 1,5 *м/сек* должна быть равна 0,0035 $м^2$ или 35 $см^2$, при $d=20$ *мм* число их $n=11$ Шаг отверстий равен $4,5:11=0,41$ *м*. Высоту осветлителя находим из выражения

$$h_{осв} = \frac{b_{кор} - 4x}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}} = \frac{2,70 - 4 \cdot 0,006}{2 \cdot 0,236} \approx 5,2\ м,$$

где α — центральный угол, образованный прямыми, проведенными от оси водо[illegible]ительного коллектора к верхним точкам кромок [illegible]ых желобов (α не должно быть более 30°); в примере $\alpha=26°36'$

Высота пирамидальной части осветлителя составляет:

$$h_{пир} = \frac{b_{кор} - a}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha_1}{2}} = \frac{2,7 - 0,30}{2 \cdot 0,6009} \approx 2,0\ м,$$

где a — размер дна осветлителя под коллектором,

α_1 — угол наклона стенок коридора, в примере $\alpha_1=62°$

При толщине защитного слоя 1,5 *м* и высоте осадкоотводных окон 0,2 *м* размер вертикальных стенок осветлителя в пределах взвешенного слоя будет равен

$$h_{верт} = 5,2 - 0,2 - 1,5 - 2,0 = 1,5\ м,$$

а общая высота зоны взвешенного осадка будет равна

$$h_{в.о} = h_{верт} + \frac{h_{пир}}{2} = 1,5 + \frac{2,0}{2} = 2,5\ м.$$

что с[illegible]ветствует нормативным данным

Рабо[illegible] объем осадкоуплотнителя (до отметки уровня взвешенного слоя) равен

$$W = l_{ко}\left(b_{о.у} h_{верт} + 2\frac{h_{пир} 0,5 b_{о.у}}{2}\right) = 4,5\left(2,6 \cdot 1,5 + \frac{2 \cdot 1,70\ \ 0,5\ \ 2,6}{2}\right) =$$

$$= 27,5\ м^3.$$

Количество взвешенных веществ, поступающих в осадкоуплотнитель, составляет

$$q_{ос} \quad Cq_{расч} = 0,547 \cdot 125 = 68,4\ кг/ч$$

Время накопления осадка при этом составит

$$T = \frac{Wb_{ср}}{q_{ос}} = \frac{27,5 \cdot 25}{68,4} \approx 10\ ч > 4\ ч$$

Средняя концентрация осадка при продолжительности уплотнения 4 *ч* и при $C=547$ *мг/л* — $\delta_{ср}=25$ [illegible] (см. табл. 25) Д[illegible] ви-

тельное время уплотнения осадка в два с половиной раза больше принятого четырехчасового уплотнения осадка.

При скорости воды в осадкоотводных окнах 36 *м/ч* сечение их составит

$$f_{о.о} = \frac{(1-K)\ q_{расч}}{2\ 36} = \frac{(1-0{,}7)\cdot 125}{2\cdot 36} = 0{,}52\ м^2$$

Принимая высоту окон 0,2 *м*, определим их общую длину

$$l = \frac{0{,}52}{0{,}20} = 2{,}6\ м.$$

Проектируем с каждой стороны осадкоуплотнителя по горизонтали 4 окна длиною 2,6 : 4 = 0,65 *м*. Если крайние окна разместить на 0,20 *м* от торцовых стенок, то расстояние между соседними окнами будет 0,5 *м*.

Для удаления осадка из осадкоуплотнителя предусмотрены двучатые трубы, укладываемые по продольной оси дна в местах схода наклонных стенок осадкоуплотнителя. Если принять время опорожнения осадкоуплотнителя $t = 10$ *мин* ($^1/_6$ *ч*), то каждая осадкосборная труба должна обеспечить расход

$$q = \frac{27{,}5}{2\cdot\frac{1}{6}} = \frac{27{,}5\cdot 6}{2} = 82{,}5\ м^3/ч \cong 23\ л/сек = 0{,}023\ м^3/сек.$$

Согласно нормам необходимо создавать в трубах, отводящих осадок, скорость не менее 1 *м/сек*, а диаметр осадкоотводящих труб принимать не менее 150 *мм* (вот почему в примере время опорожнения шламонакопителя ограничено 10 *мин* вместо 15 *мин* по норме).

Принимая диаметр трубы 150 *мм* при расходе 23 *л/сек*, скорость в конце трубы составит 1,2 *м/сек*, что больше 1,0 *м/сек*. Суммарная площадь отверстий при скорости движения осадка через них 3 *м/сек* составит

$$\Sigma f_0 = \frac{0{,}023}{3} = 0{,}007\ м^2 = 77\ см^2.$$

При минимально допустимом диаметре отверстий, равном 20 *мм*, площадь каждого из них $f_0 = 3{,}14\ см^2$, тогда количество отверстий

$$n = 77 : 3{,}14 = 24{,}6 \text{ шт}$$

принимаем $n = 24$. При двухрядном расположении отверстий на трубе шаг между ними в рядах 4,5 : 12 = 0,375 *м* или 37,5 *см*, т. е. менее 50 *см* (максимально допустимого шага отверстий).

Потеря воды при опорожнении осадкоуплотнителя определяется по формуле (59)

$$P_{ос} = \frac{547-10}{25\,000}\cdot 100 = 2{,}15\%$$

Эти данные необходимы для уточнения расходов воды на собственные нужды станции.

Заключительным этапом расчета осветлителей является определение потерь напора в них. Потери напора в отверстиях распределительных труб по формуле (60) равны

$$h_1 = 2 \cdot \frac{2^2}{2 \quad 9{,}81} = 0{,}41 \text{ м}.$$

Потери напора по длине в телескопических трубах, подводящих воду в ...итель, определяем по таблицам гидр...ического ...чета ст... труб. на участке коллектора $d = \ldots$ мм и д... е 2,25 м потери равны 0,007 м, на участке $d = 150$ мм (расход вдвое меньше) — 0,008 м,

$$h_2 = 0{,}007 + 0{,}008 = 0{,}015 \text{ м}.$$

Потери напора во взвешенном слое, исходя из потерь 1 см на 1 м взвешенного слоя осадка, составят

$$h_3 = 1 \cdot 2{,}5 = 2{,}5 \text{ см} = 0{,}025 \text{ м}.$$

Потери напора в отверстиях водосборных лотков

$$h_4 = 2 \cdot \frac{1^2}{2 \quad 9{,}81} = 0{,}102 \text{ м}$$

И, наконец, потери напора (по длине) в водосборных лотках ориентировочно можно принять

$$h_5 = 0{,}06 \text{ м}.$$

Суммарная потеря напора в осветлителе

$$\Sigma h = 0{,}41 + 0{,}015 - 0{,}025 + 0{,}102 + 0{,}06 = 0{,}612 \text{ м}.$$

ГЛАВА VII

СКОРЫЕ ФИЛЬТРЫ

§ 35. Общие сведения о фильтровании воды через зернистые загрузки

Завершающим этапом освобождения воды от вз... ных веществ как *природного происхождения, так и образов...хся при* ее реагентной очистке, является фильтрование. Этот пр...есс осуществляется путем опуска воды через слой мелко...нистого фильтрующего мате...ала определенной высоты в специальных сооружениях — фильт... Э...ект фильтрования при этом зависит от коли...ства и размеров взвешенных в воде примесей, величины зерен фильтрую...й среды и скорости фильтрования, а для коагулированных загр...ений также от прочности образующихся агрегатов.

При во... одготовке для осв...ения воды после обр...отки ее коагулянт... применяют скорые фильтры, при безреаге...ных методах, рассматриваемых в главе IX, — медленные. Скорые фильтры могут использоваться для очистки воды с п...варительным ее осветлением и без осветления (прямоточные фильтры). В зависимости от способа создания нап...а, необходимого для пр...ения

сопротивления в фильтрующем слое, различают фильтры открытые самотечные (безнапорные), в которых создается перепад давления за счет разности уровней воды на фильтре и в резервуаре чистой воды, и напорные, работающие под давлением, создаваемым насосом; по направлению движения воды различают однопоточные скорые фильтры — фильтрование воды производится сверху вниз, и двухпоточные — фильтрование воды осуществляется одновременно сверху вниз и снизу вверх. Выбор системы фильтров для станций обработки воды производится на основании технико-экономических показателей.

В процессе фильтрования воды, содержащей взвешенные вещества, через зернистые материалы могут наблюдаться следующие явления: отложение взвешенных веществ на поверхности фильтрующего материала (пленочное фильтрование), отложение взвешенных веществ в порах фильтрующего слоя; одновременное образование взвешенными веществами пленки и отложение их в порах загрузки. В настоящее время достаточно полно разработаны теории пленочного фильтрования и работы фильтрующего слоя с отложением нерастворимых в воде примесей в его порах [10, 27, 28, 72]. Это позволяет проводить моделирование процессов осветления воды фильтрованием.

Наиболее распространенным фильтрующим материалом является кварцевый речной или карьерный чистый (отмытый от глинистых частиц) песок, уложенный на поддерживающие слои щебня или гравия. В последнее время в однопоточных скорых фильтрах получили распространение комбинированные двухслойные фильтрующие загрузки: песок—дробленый антрацит [73], песок—активированный уголь [74], песок—мраморная крошка [17] и др., а также многослойные фильтры, например, песок—дробленый антрацит—керамзит [75].

Фильтрующий материал характеризуют такие основные показатели: эффективная величина и эквивалентный диаметр зерен, коэффициент неоднородности. Эффективная величина зерен фильтрующего материала представляет собой калибр-сита, через которые проходит 10% исследуемого фильтрующего материала (d_{10}). Эквивалентный диаметр зерна ($d_э$) в *мм* определяют из зависимости

$$d_э = 100/\Sigma \frac{P_i}{d_i},$$

где P_i — процентное содержание фракций, остающихся на сите калибром d_i.

Коэффициент неоднородности (K) равен

$$K = d_{80}/d_{10},$$

где d_{80}, d_{10} — диаметры зерен в *мм*, соответствующие 80 и 10%-ному калибру.

Часто фильтрующие материалы характеризуют, пользуясь таким показателем, как средний диаметр ($d_{ср}$), представляющий собой размер зерен, более крупных, чем 50% всех зерен, содержащихся

в фильтрующем материале Показатели, используемые для характеристики фильтрующих материалов, связаны между собой следующей *приближенной зависимостью* $d_{cl} = 0{,}9\ K\ d_{10}$

Данные, необходимые для характеристики фильтрующего материала, получают при помощи ситового анализа, на основе которого строят кри- о. На рис 38 приведена такая кривая для песка, имеющего сре, й диаметр зерен 0,6 *мм*, эффективную величину зерен 0,48 *мм* и коэффициент неод одности 0,83. 0,48=1,73, эквивал ный диаметр равен 0,57 *мм*.

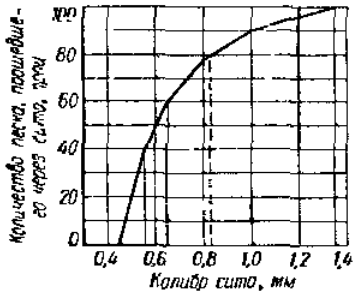


Рис 38 График ситового анализа песка

Для загрузки открытых фильтров рекомендуется применять кварцевый песок, дробленый антрацит и другие зернистые материалы, удовлетворяющие санитарно гигиеническим требованиям, а также имеющие необходимую механическую прочность и химическую стойкость. В табл 27 приведены рекомендуемые СНиП II-Г. 3 [21] фильтрующие слои и скорости фи ования воды для разл ных типов фильтров в случае исполь ри их загрузке ква вого песка и антрацита Зерна дробленого ан ацита должны быть кубической или приближающе к ша формы, антрацит слои не пр ден; соде ание се в нем должно быть не ность жна составлять до 5% При использовании других фильтрующих материалов данные табл 27 уточняются на основании экспериментальных исследований.

Таблица 27 *Фильтрующие слои и скорости* ия

Тип фильтра	Характеристика фильтрующего слоя					Расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме в м/ч	Допустимая скорость фильтрования при форсированном режиме в м/ч
	Гранулометрический состав						
	Диаметр зерен в мм			Коэффициент неоднородности	Высота слоя в мм		
	минимальный	максимальный	эквивалентный				
Кварцевый песок или антрацит							
Однопоточный с загрузкой различной крупности	0,5	1,2	0,6—0,8	2,0—2,2	700	6	7,5
	0,7	1,5	0,9—1,0	1,8—2,0	1200—1300	8	10
	0,9	1,8	1,1—1,2	1,5—1,7	1800—2000	10	12
Кварцевый песок							
Однопоточный с двухслойной загрузкой	0,5	1,2	0,8	2	400—500	10	12
	0,8	1,8	Антрацит 1,1	2	400—500	10	12
Кварцевый песок							
Двухпоточный	0,5	1,5	0,9	2—2,5	1400—1650	12	15

Как видно из табл. 27, для скорых фильтров предусматриваются нормальный и ф прованный режимы Работа фи гров форсируется в тех случа ., когда, кроме обычного отключ ия их на промывку, один или два фильтра останавливается на ремонт.

Как уже отмечалось, в процессе фильтрования воды через зернистые материалы гетерофазные примеси задерживаются в поверхностной пленке или в порах загрузки, в результате чего снижается пропускная способность фильтров и иногда ухудшается качество фильтро ной воды При правильном подбо гр улометрического сос ва и толщины с время достиж ия едельно допустимой потери напора в фильтре и время защитного действия загр ки, в течение которого поддержи тр ое качество ф ьтрата, должно быть близким Уд за ии и восстановление фильтрующей способчости зернистой загрузки обычно про одится в восходящем потоке воды, переводящем ее во взвешен... состояние. Иногда для улучшения отмывки фильтрующей загрузки и экономии расхода воды применяют верхнюю или водовоздушную промывку при соответствующем их обосновании. Интенсивность и продолжительность промывки, а также расширение слоя загрузки для различных типов фильтров приведены в табл. 28.

Таблица 28 *Рекомендуемая СНиП II-Г 3 [21] интенсивность промывки фильтров при 20°С*

Тип скорого фильтра	Ј отн го] сь... ки в п	нин ельно- ирени ...ут	Интенсивность промывки в *л/сек·м²*	...жительность промывки в *мин*
Однопоточный с загрузкой				
$d_э$=0,7—0,8 *мм*		45	12—14	6—5
$d_э$=0,9—1,0 »		30	14—16	
$d_э$=1,1—1,2 »		25	16—18	
Однопоточный с двухслойной загрузкой		50	13—15	7—6
Двухпоточный				
взрыхление наддренажного слоя песка		—	6—8	2—1
основная нижняя промывка		30	13—15	6—5
промывка дренажа		—	10—12	2—1

При повышении температуры промывной воды сверх 20°С расчетные величины интенсивности промывки увеличивают на 8% для каждых 5°С. Большим значениям интенсивности промывки соответствуют меньшие значения ее продолжительности.

Режим водовоздушной промывки следующий: вначале фильтрующую загрузку продувают воздухом с интенсивностью 15—20 *л/сек·м²* в течение 1—2 *мин*, затем производят совместную водовоздушную промывку при интенсивности подачи воды 3—4 *л/сек·м²* в течение 5 *мин* и, наконец, двухминутную промывку водой с интенсивностью 5,5—6,5 *л/сек·м²* без продувки воздухом. Подачу большего количества воды и воздуха принимают для более крупнозернистых фильтрующих материалов.

Расчетные параметры фильтрующей загрузки и оптимальные режимы работы фильтров (скорость фильтрования, продолжительность фильтроцикла между промывками) рекомендуется определять на основании результатов технологических изысканий. При отсутствии таких данных для предварительных расчетов используют значения, приведенные в табл. 27 с учетом, что продолжительность рабочего цикла фильтров при нормальном режиме должна составлять 8—12 *ч* и при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтров — не менее 6 *ч*.

§ 36. Однопоточные открытые скорые фильтры (безнапорные)

Открытый самотечный безмешалочный скорый фильтр представляет собой прямоугольный в плане железобетонный резервуар, загруженный фильтрующим слоем зернистого материала с поддерживающими слоями гравия, под которыми размещена дренажная система для сбора фильтрованной воды и равномерного распределения промывной воды (рис. 39). В верхней его части укреплены

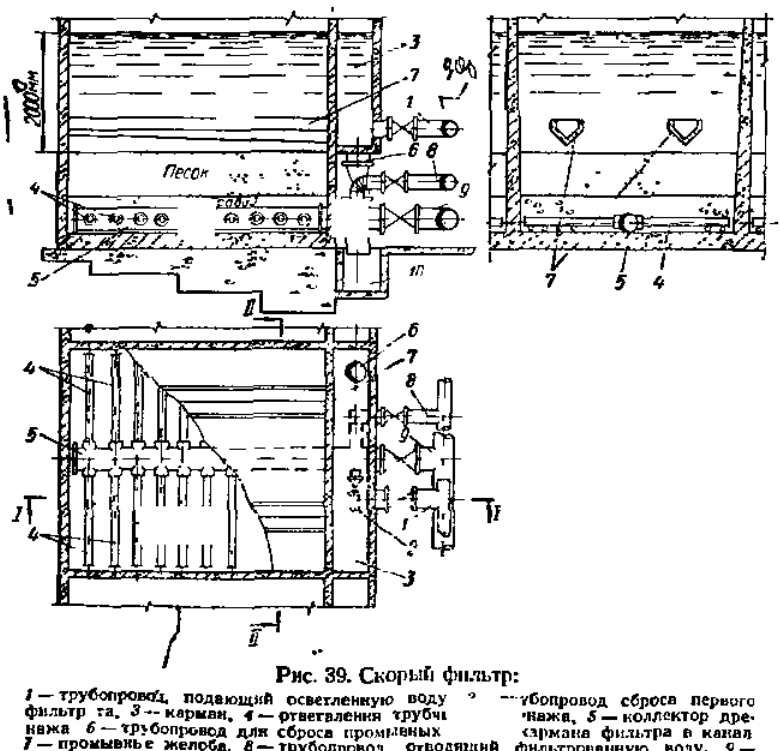


Рис. 39. Скорый фильтр:

1 — трубопровод, подающий осветленную воду; *2* — трубопровод сброса первого фильтрата; *3* — карман; *4* — ответвления трубчатого дренажа; *5* — коллектор дренажа; *6* — трубопровод для сброса промывных вод; *7* — промывные желоба; *8* — трубопровод, отводящий фильтрованную воду; *9* — карман фильтра в канал трубопровод промывной воды; *10* — канал для сброса промывных вод в промканализацию.

желоба для сбора грязной промывной воды, по ним же подводится осветляемая вода из отстойников или осветлителей. Вдоль фильтра размещается арматура управления, обеспечивающая подвод воды, отвод фильтрата, сброс воды из фильтра в сток, подачу промывной воды, сброс воды после промывки фильтрующего слоя в сток. Кроме того, предусматривается регулятор скорости фильтрации или расходомер для фильтрата с регулятором. Скорость воды в подводящих трубах и каналах должна быть равна 0,8—1,2 *м/сек*. Высоту слоя воды над загрузкой фильтра принимают равной не менее 2 *м*.

При площади фильтров более 30—40 $м^2$ их устраивают с центральными каналами, разделяющими каждый фильтр на две равные части (ячейки). Верхние отсеки этих каналов используют для подвода осветляемой воды, к ним присоединяют желоба, нижние отсеки служат коллектором дренажной системы. На крупных станциях обработки воды площадь каждого из фильтров может достигать 100—120 $м^2$.

Суммарную площадь скорых фильтров F в $м^2$ рассчитывают по формуле

$$F = \frac{Q}{Tv_{р.н} - 3,6nwt_1 - nt_2v_{р.н}}, \qquad (61)$$

где Q — полезная производительность станции в $м^3/сутки$;

T — время работы станции в течение суток в *ч*;

$v_{р.н}$ — расчетная скорость фильтрации при нормальном режиме в *м/ч*, принимается по табл. 27;

n — число промывок каждого фильтра в сутки, при нормальном режиме эксплуатации принимается не более 2—3;

w — интенсивность промывки в $л/сек \cdot м^2$, принимается по табл. 28;

t_1 — продолжительность промывки фильтра в *ч*, принимается по табл. 28;

t_2 — время простоя фильтра в связи с промывкой в *ч*, принимается для однопоточных — 0,33 *ч* и двухпоточных — 0,5 *ч*;

Число фильтров на станции N определяют на основании экономических расчетов и удобства обслуживания. Ориентировочно оно может быть подсчитано по формуле

$$N = 1/2\sqrt{F}. \qquad (62)$$

Количество фильтров на станциях обрабатки воды рекомендуется принимать не менее четырех, однако при соответствующем обосновании число их может быть уменьшено до двух. Для станций обезжелезивания, умягчения и обесфторивания воды допускается проектировать по одному фильтру.

При выборе числа фильтров станции необходимо произвести проверку скорости фильтрования при форсированном режиме,

$v_{р.ф}$ в *м/ч*, величина которой не должна превышать допустимой величины (см. табл. 27). Она вычисляется по формуле

$$v_{р.ф} = \frac{N}{N - N_1} v_{р.н}, \qquad (63)$$

где N_1 — количество фильтров, находящихся в ремонте. Если число фильтров на станции не превышает 20, то в расчетах предусматривают выключение на ремонт одного фильтра, при большем количестве — двух.

В тех случаях, когда $v_{р.ф}$ оказывается больше допустимой величины, соответственно уменьшают принятое значение расчетной скорости фильтрования при нормальном режиме $v_{р.н}$ в формуле (63).

При числе однопоточных фильтров на станции более 20 и двухпоточных более 14 время рабочего цикла при форсированном режиме $T_ф$ в *ч* определяется необходимостью последовательной промывки фильтров в соответствии с зависимостью

$$T_ф = [N - (N_1 + a)] t_2, \qquad (64)$$

где a — количество одновременно промываемых фильтров; остальные обозначения прежние.

В период выключения одного из фильтров на промывку на остальных фильтрах скорость фильтрования может сохраняться постоянной или увеличиваться до 20%. Поэтому при количестве фильтров на станции обработки воды меньше 6 скорость фильтрования должна оставаться постоянной. При таком режиме работы в сооружениях, в которых может накапливаться вода (фильтры, отстойники, осветлители, смесители и др.), над нормальным уровнем предусматривают дополнительную высоту, $H_{доп}$ в *м вод. ст.*, для приема воды в случае выключения фильтров на промывку; ее определяют по формуле

$$H_{доп} = \frac{W}{\Sigma F}, \quad \nu \qquad (65)$$

где W — объем воды в $м^3$, накапливающейся в сооружениях в период одной промывки;

ΣF — суммарная площадь в $м^2$ сооружений, в которых может накапливаться вода, определяется по высотной схеме станции обработки воды.

Разность пьезометрических отметок перед фильтрующим слоем и в трубопроводе для фильтрата рекомендуется принимать для открытых фильтров равной 3 *м. вод. ст.*

Дренажные системы скорых фильтров являются одним из важнейших элементов, обеспечивающих равномерное распределение по всей площади фильтрующей загрузки промывной воды, равномерный сбор и отвод профильтрованной воды в однопоточных фильтрах. Неравномерное распределение подаваемой на промывку воды обусловливает неудовлетворительную промывку зерен фильтрующего материала и сдвиг гравийных поддерживающих слоев (если они применяются), что приводит к нарушению нормальной

работы фильтров Различают дренажные системы с гравийными слоями, поддерживающими зернистые фильтрующие загрузки, и без них В последнем случае применяют щелевые трубы, колпачки, пористые к[illegible]мические плиты, пористый бетон и др. Дренажные системы должны быть доступны для прочистки.

В скорых фильтрах равном[illegible]ость промывки достигается благодаря устройству распределит[illegible]ных систем бол[illegible]ого сопротивления без горизонтальной ком[illegible]пенсац[illegible], др[illegible] система ма[illegible]о с[illegible]ения в скорых фильтрах не получила распространения.

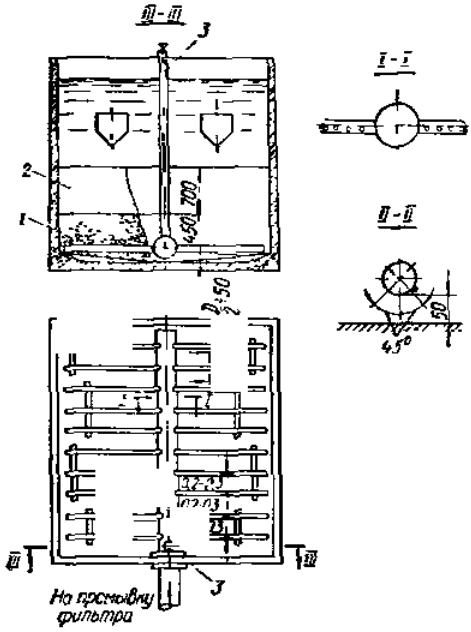


Рис 40 Схема трубчатого дренажа большого сопротивления
1 — гравий, *2* — фильтрующий слой, *3* — воздушная труба.

Трубчатый дренаж большого сопротивления, выполненный в виде трального коллектора с ответвлениями из перфорированных труб с круглыми отверстиями $d = 10—12$ *мм*, направленными вниз под углом 45°, показан на рис. 40. Над трубчатым дренажем поме[illegible]ются поддерживающие и гравия Как уже отмечалось, при площади фильтра больше 30—40 $м^2$ вместо трубчатого коллектора устраивают центральный канал, к которому присоединяют распределительные трубы. Площадь поперечного сечения коллектора или канала по всей его длине, а также диаметр ответвлений по всей их длине пр[illegible]тируют постоянными. Об[illegible]я площадь отверстий в трубчатом дренаже должна составлять 0,25—0.3 % площади фильтра; расстояние между осями труб ответвле[illegible]й принимают в пределах 250—350 *мм*.

Для удален[illegible] воздуха из трубопровода, подающего промывную воду к фильтрам, устанавливают стояки-воздушники диаметром 75—150 *мм* в завис[illegible]сти от его поперечного сечения В верхней части стояков укре[illegible]пот вантузы или вентили. Такие же стояки-воздушники диаметром 75 *мм* монтируют в повышенных местах коллекторов фильтров; количество их при площади фильтра до 50 $м^2$ — один и для фильтров большей площади — два (один — в начале, другой — в конце).

Высоту поддерживающих слоев гравия или щебня в скорых фильтрах в *мм* принимают следующей:

Куски крупностью 32—16 *мм*		Верхняя граница слоя должна быть на 100 *мм* выше отверстий дренажной системы (до верха труб, но не менее 100 *мм*)
То же	16— 8 *мм*	100—150
»	8 — 4 *мм*	100—150
»	4 — 2 *мм*	50—100

Разновидностью дренажа большого сопротивления без поддерживающих гравийных слоев является трубчатый дренаж со щелевой перфорацией при ширине щелей на 0,1 *мм* меньше наименьшего размера фракции загружающей загрузки. Перфорированные трубы во избежание зарастания и коррозии щелей должны изготовляться из нержавеющей стали или из пластмассы (например из винипласта). Наиболее перспективным является дренаж из перфорированных труб из нержавеющей стали с электроискровой нарезкой щелей.

Потерю напора в дренажной системе большого сопротивления из перфорированных труб вычисляют по формуле

$$h_д = \left(\frac{2{,}2}{K_w^2} + 1\right)\frac{v_к^2}{2g} + \frac{v_{б.о}^2}{2g}, \qquad (66)$$

где $v_к$ — скорость в начале коллектора или канала; принимают для трубчатого коллектора в пределах 1,0 *м/сек*, для канала 1,0—1,2 *м/сек*;

$v_{б.о}$ — скорость промывной воды в начале бокового ответвления; принимают в пределах 1,8—2,0 *м/сек*;

K_w — отношение суммарной площади отверстий дренажной системы к площади поперечного сечения коллектора.

Обычно эта потеря напора должна составлять 3—5 *м вод. ст.* при скорости движения воды в питающих трубопроводах до 2 *м/сек*.

Потери напора в поддерживающих слоях гравия $h_{п.с}$ и в слое фильтрующей зернистой загрузки $h_ф$ в *м вод. ст.* могут быть вычислены из зависимостей [27]:

$$h_{п.с} = 0{,}22 H_{с.г} w; \qquad (67)$$

$$h_ф = (a + bw) H_ф, \qquad (68)$$

где $H_{с.г}$ — высота слоя гравия в *м*;

w — расчетная интенсивность промывки в *л/сек·м²* (см. табл. 28);

$H_ф$ — высота фильтрующего слоя в *м*,

a и b — параметры, соответственно равные: 0,76 и 0,017 для кварцевого песка с размером зерен 0,5—1 *мм*, 0,85 и 0,004 — для зерен 1—2 *мм*.

В тех случаях, когда на скорых фильтрах проектируют водовоздушную промывку, подачу воздуха предусматривают при помощи дренажных систем со специальными колпачками или устраивают раздельные трубчатые распределительные системы для воды и воздуха. В трубчатой распределительной системе для воздуха площадь отверстий в каждом ответвлении предусматривается равной

0,35—0,5 от площади его поперечного сечения. Давление сжатого воздуха рассчитывают, исходя из скорости движения его по трубопроводам 15—20 *м/сек* и выхода из отверстий распределительной системы 30—40 *м/сек.*

При соответствующем обосновании допускается применение других распределительных систем при обеспечении равномерной подачи воды и воздуха по всей площади фильтра.

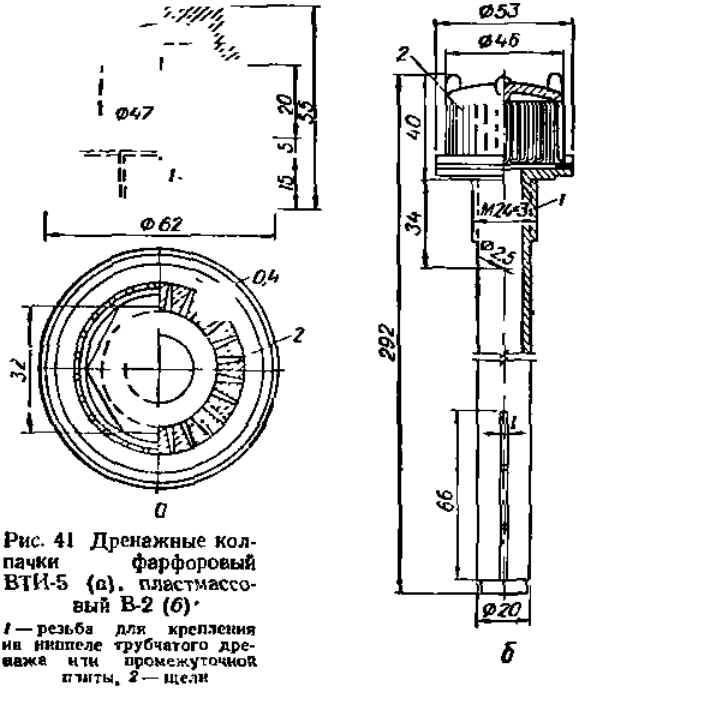


Рис. 41 Дренажные колпачки фарфоровый ВТИ-5 (*а*), пластмассовый В-2 (*б*)

1 — резьба для крепления на ниппеле трубчатого дренажа или промежуточной плиты, *2* — щели

Рекомендуемый режим водовоздушной промывки следующий: продувка воздухом, подаваемым с интенсивностью 15—20 *л/сек·м²*, в продолжение 1—2 *мин;* совместная водовоздушная промывка в тече ⁻ 5 *мин*, при подаче воды с интен⁻ ⁻ ностью 3—4 *л/сек·м²*; про ⁻ ка водой (без продувки), пода мой с интенсивностью 5,5—6,5 *л/сек·м²*, в продолжение 2 *мин*. Более интенсивно воду и воздух подают при более крупнозернистых загрузках фильтра.

В скорых фильтрах без поддерживающих гравийных слоев с водяной и воздушной промывкой целесообразно применять дренажи из колпачков со щелевыми отверстиями (рис 41). Такие колпачки могут быть изготовлены из пластмассы, фарфора, нержавеющей стали, закрепляют их в промежуточном (ложном) днище фильтра (рис. 42). Количество их должно быть не меньше 30 шт. на 1 *м²* площади фильтра. Поверхность щелей фарфорового колпачка

ВТИ-5 равна 1,92 *см*², пластмассового колпачка В-1 — 2,88 *см*² Пластмассовые колпачки находят применение при водовоздушной промывке скорых фильтров, так как позволяют равномерно распределять одновременно и воду, и сжатый воздух. В их верхней части имеются [illegible], равномерно расположенные по цилиндрической поверхности, а нижние части выполнены в виде полого ствола с узкой щелью шириной 1—1,5 *мм* и высотой порядка 50—60 *мм*.

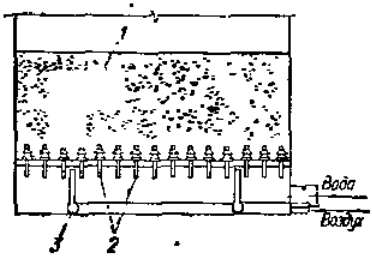


Рис. 42 Схема скорого фильтра с колпачковым дренажом
1 — фильтрующий слой, *2* — дренажные колпачки, *3* — система труб для воздуха

При проектировании суммарную площадь щелей всех колпачков, устанавливаемых в фильтры, принимают равной 0,8—1,0% его рабочей поверхности.

Потерю напора в дренажной системе с колпачками $h_к$ в *м вод. ст.* рассчитывают по формуле

$$h_к = 5\,\frac{v_щ^2}{2g}\,, \qquad (69)$$

где $v_щ$ — скорость движения воды в щелях колпачков, принимают не менее 1,5 *м/сек*.

В последнее время стали применять в скорых фильтрах дренажные безгравийные системы из пористых керамических плит. Их изготовляет Московский керамический комбинат, они имеют размеры 300×300×40 *мм* с порами размером 270—310 *мкм*; сопротивление этих плит при скорости фильтрования через поры 7—8 *м/ч* не превышает 30—40 *см вод. ст.* Схема крепления пористых дренажных плит в фильтре площадью 100 *м*² Черепковской очистной станции водопровода приведена на рис. 43.

В случае осветления высокомутных вод, а также при обезжелезивании и умягчении воды при соответствующем технико-экономическом обосновании возможно применение поверхностной промывки с помощью стационарных или вращающихся устройств (с. 44, 45) Для стационарной распределительной системы интенсивность промывки составляет 3—4 *л/сек·м*² при напоре воды 30—40 *м вод. ст.* Расстояние между осями распределительных труб равно 700—1000 *мм* при расстоянии их от поверхности загрузки 60—80 *мм*, шаг между отверстиями в трубах составляет 75—100 *мм* Для вращающихся устройств интенсивность промывки составляет 0,5—0,75 *л/сек м*² при напоре 40—50 *м вод. ст.*

Количество воды, расходуемой на промывку фильтров, $P_ф$ в проц. вычисляют по формуле

$$P_ф = \frac{\omega N}{qT} 100, \qquad (70)$$

где ω — расход воды на одну промывку в $м^3$,

q — расчетный расход воды в $м^3/ч$;

N — количество фильтров;

T — продолжительность работы фильтров между промывками в ч.

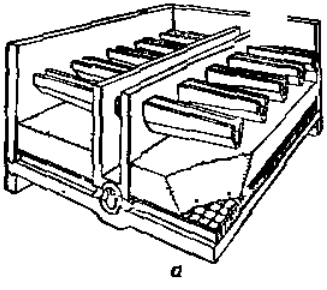
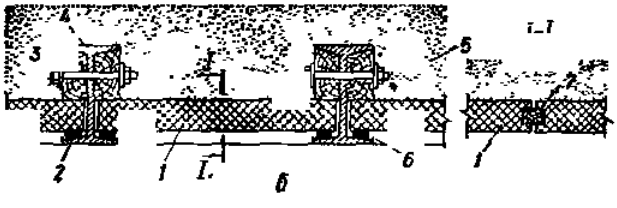


Рис 43 Фильтр с дренажом из пористых плит: *а* — общий вид, *б* — деталь крепления дренажа в фильтре *1* — пористая плита, *2* — резиновая прокладка, *3* — фасонная деревянная планка, *4* — двутавровая балка, *5* — фильтрующий слой (песок), *6* — буртик из металла; *7* уплотнение поперечного стыка деревянной планкой.



Промывку скорых фильтров производят очищенной водой, подаваемой специальным промывным насосом, который обычно устанавливают на насосной станции второго подъема, или из специального бака промывной воды, который размещают на необходимой по расчету высоте здания реагентного хозяйства. Для определения напора насоса или отметки дна бака учитывают потери напора в фильтре и коммуникациях.

Выбор способа подачи воды на промывку скорых фильтров при проектировании станции должен быть обоснован технико-экономическими расчетами.

Объем бака для промывной воды рассчитывают на две промывки (при одновременной промывке одного фильтра) или на три промывки (при одновременной промывке двух фильтров). Производительность насоса для подачи воды в промывной бак $Q_{н.п}$ в $м^3/ч$ определяется, исходя из условия наполнения бака в интервалы

между промывками фильтров при форсированном режиме работы; она может быть определена по формуле

$$Q_{н\,а} = K\frac{w_{пр}n}{T}, \qquad (71)$$

где K — коэффициент запаса, принимаемый в пределах 1,5—2;
$w_{пр}$ — расход воды на одну промывку фильтра в $м^3$, равный 3,6 wFt (F — площадь фильтра в $м^2$, w — интенсивность промывки в $л/сек \cdot м^2$; t — время промывки в $ч$);
n — общее число промывок фильтров станции в сутки;
T — число часов работы станции в сутки.

Вода для промывки скорых фильтров может отбираться из резервуара чистой воды, а на больших станциях из канала фильтрованной воды, в котором предусматривается при этом специальный приямок. Трубопровод, подающий воду из промывного бака на фильтры, должен быть надежно защищен от возможного подсоса в него воздуха.

Если фильтры промываются водой, подаваемой насосом, то его производительность рассчитывают на одновременную промывку только одного фильтра. При этом забор воды насосом производится из резервуара чистой воды, в котором должен поддерживаться запас воды на две промывки. Для промывки фильтров следует предусматривать один рабочий и один резервный насосный агрегат. Производительность промывного насоса $Q_{нас}$ в $м^3/ч$ может быть определена по формуле

$$Q_{нас} = 3{,}6Fw. \qquad (72)$$

Успех промывки фильтра в значительной степени зависит от способа отвода промывной воды. В открытых скорых фильтрах это осуществляется посредством навесных железобетонных, металлических или деревянных желобов, полукруглого или пятиугольного сечения (рис. 46, *а*, *б*). Расстояние от кромок желобов до уровня фильтрующей загрузки $\Delta h_ж$ в $м$, во избежание выноса последней с промывной водой рекомендуется принимать на 25 $см$ больше, чем

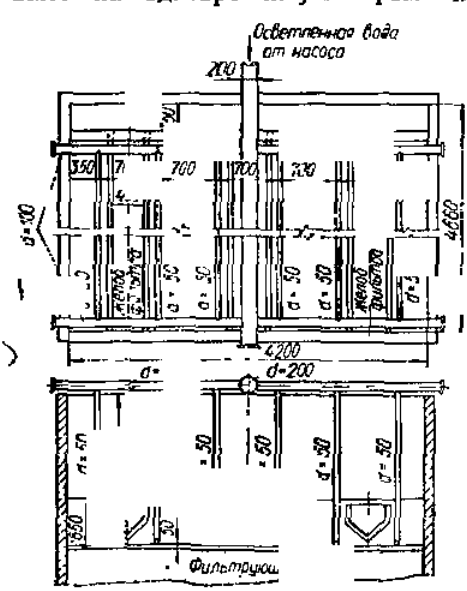


Рис 44. Схема фильтра со стационарной системой верхней промывки

высота наибольшего расширения зернистого материала при промывке, его рассчитывают по формуле

$$\Delta h_{ж} = \frac{He}{100} + 0{,}25, \qquad (73)$$

где H — высота фильтрующего слоя в *м*;

e — относительное расширение его при промывке в проц. (см. табл. 28).

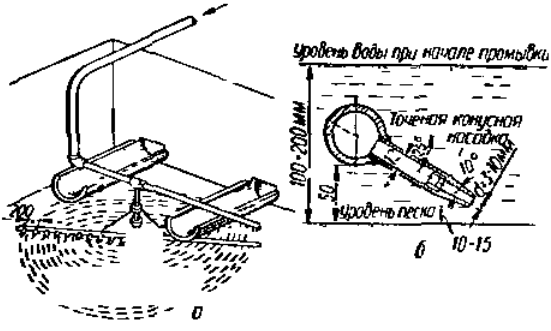


Рис 45 Схема устройства вращающейся системы для верхней промывки.
а — общий вид, б — деталь насадки

Расход воды через один желоб при промывке равен

$$q_{ж} = \frac{wab}{1000}, \qquad (74)$$

где w — максимальная интенсивность промывки фильтра в *л/сек·м²* (см табл. 28);

a — расстояние между осями желобов в *м*, принимается равным не более 2,2 *м*;

b — длина желоба в *м*.

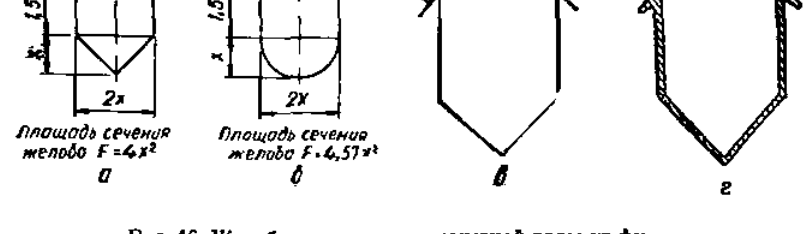


Рис. 46. Желоба для отвода промывной воды из фильтра
а, б — сечение желобов, *в, г* — варианты защитных козырьков.

Ширина желоба B в *м* определяется зависимостью

$$B = K \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1{,}57 + \alpha)^3}}, \qquad (75)$$

где α — отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимается в пределах 1—1,5;

K — коэффициент для желобов пятиугольного сечения, принимается равным 2,1; для желобов полукруглого сечения — 2,0.

При определении размеров желобов целесообразно пользоваться графиками, приведенными на рис 47. Кромки всех желобов должны располагаться на одном уровне В фильтрах со сборным каналом его глубина $H_{кан}$ в *м*, считая от дна желоба, должна быть не менее



Рис 47 Графики для определения размеров промывных желобов.

$$H_{кан} = 1{,}73 \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{gA^2}} + 0{,}2 \qquad (76)$$

где $q_{кан}$ — максимальный расход воды по каналу при промывке в *м³/сек;*

A — ширина канала, принимается равной не менее 0,7 *м.*

Лотки желобов должны устанавливаться с уклоном 0,01 в сторону сборного канала. Трубопровод, отводящий промывную воду из сборного канала, должен создавать в нем подпор.

В случае воздушной промывки расстояние от кромок желобов до поверхности фильтрующей загрузки принимают равным *30—40 см, низ их при этом не должен врезаться в загрузку.* Вдоль кромок желобов предусматривают также отливные щитки с трубками для выпуска воздуха (см рис. 46, *в, г*). Расстояние между желобами следует принимать равным 1,5—2,0 *м.*

Система отвода промывной воды посредством желобов имеет ряд существенных недостатков, которые снижают эффект промывки [76].

В научно-исследовательском институте ВОДГЕО разработана напорно-всасывающая система для сбора и отвода из фильтров промывной воды, состоящая из сборных дырчатых труб, работающих во время промывки по принципу сифона, и сборного коллектора, соединяющего их с трубопроводом, отводящим промывную воду в промканализацию станций Сборные дырчатые трубы с отверстиями 20—30 *мм* располагаются на расстоянии 0,7—0,8 *м.* Действие напорно-всасывающей системы основано на использовании напора создаваемого вследствие разности уровней воды в фильтре и в коллекторе промканализации Скорость движения воды в конце дырчатых труб принимают равной 1,5—2,5 *м/сек.* При использовании напорно-всасывающей системы расход воды на промывку на 50% меньше, чем при сборной системе желобов.

Трубопроводы и каналы, предназначенные для подвода и отвода воды, проектируют для условий форсированного режима работы фильтров. При этом принимают скорость движения воды в них: в подающих на фильтр отстоянную воду — 0,8—1,2 *м/сек*, в отводящих фильтрованную воду — 1—1,5 *м/сек*, в подводящих промывную воду — 1,5—2,0 *м/сек* и отводящих воду после промывки в водосток — не менее 0,8 *м/сек*. Полное опорожнение фильтра в зависимости от его площади производят через трубопровод диаметром 100—200 *мм*, входное отверстие которого защищают сеткой или решеткой. Предусматривают также уклон дна фильтра 0,005 в направлении сборного трубопровода.

Большое преимущество перед обычными скорыми фильтрами с фильтрующим слоем песка имеют *двухслойные фильтры*, в которых зернистая загрузка состоит из отдельных слоев песка и антрацитовой крошки [73]. Фракционный состав этих материалов, а также расчетные скорости фильтрования приведены в табл. 27. При наличии в верхней части крупнозернистого материала не наблюдается образование плотной поверхности пленки загрязнений, так как они отлагаются в большом поровом пространстве фильтрующего слоя. В результате этого возрастает грязеемкость фильтра примерно в 2—2,5 раза и предоставляется возможность увеличить скорость фильтрования, а также удлинить фильтроцикл. По эксплуатационным данным они близки к двухслойным фильтрам системы АКХ. Двухслойные фильтры используются для осветления воды после обработки ее коагулянтами. Особенно перспективно их применение при очистке воды, содержащей большое количество фитопланктона, что наблюдается при «цветении» водоемов. Они пригодны также для станций умягчения и обезжелезивания воды.

Конструктивно двухслойные фильтры аналогичны обычным скорым фильтрам с однослойной загрузкой. Особенностью их оборудования является формирование раздельных слоев песка и дробленого антрацита, что достигается последовательной тщательной сортировкой их в процессе промывки. В некоторых случаях вместо антрацита используют активированный уголь [74], при этом в фильтрующем слое наряду с осветлением происходит частичное обесцвечивание и дехлорирование воды.

§ 37. Двухпоточные скорые фильтры системы АКХ

В основу конструктивного решения фильтров АКХ, разработанных в Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, положен принцип двухстороннего фильтрования воды с отводом фильтра трубчатой дренажной системой, расположенной в толще фильтрующего слоя [28, 77, 78]. Часть обрабатываемой воды фильтруется сверху вниз через верхний слой загрузки, основная же масса воды фильтруется снизу вверх, через нижний слой. Наличие двухстороннего движения воды обеспечивает статическую устойчивость фильтрующего слоя.

Фильтрование основной массы осветляемой воды снизу вверх сначала через слой крупного, а затем через все более мелкий песок обеспечивает повышение грязеемкости и производительности фильтра при сокращении расхода воды на промывку. Устройство открытого фильтра АКХ прямоугольного в плане сечения приведено на рис. 48. В нижней его части располагается трубчатая рас-

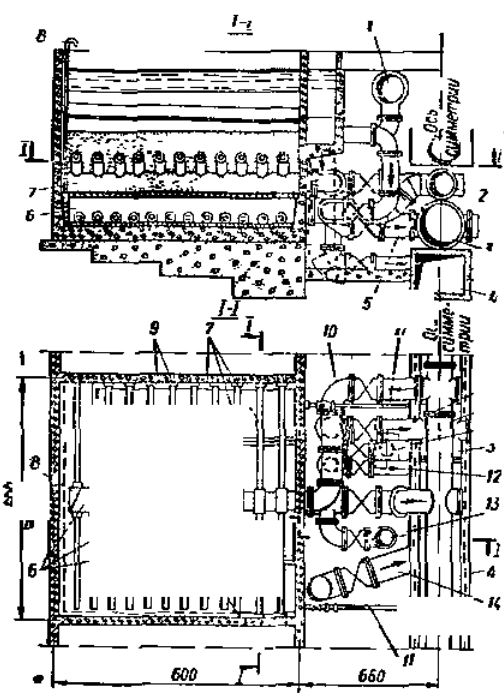


Рис. 48. Двухпоточный фильтр АКХ

1 — трубопровод, подающий осветленную воду, *2* — общий трубопровод, подающий промывную воду, *3* — сборный коллектор, *4* — сточный канал, *5* — трубопровод, отводящий воду из фильтра в сборный коллектор, *6* — нижняя распределительная система, *7* — дренажная система для сбора отфильтрованной воды, *8* — трубы для подачи воды на фильтрующую загрузку, *9* — уголки, *10* — дренажную систему, *11* — трубопровод промывной воды ячейки фильтра, *12* — трубопровод полного опорожнения, *13* — трубопровод сброса первого фильтрата, *14* — трубопровод, подающий воду в нижнюю распределительную систему, *15* — трубопровод сброса промывных вод из кармана фильтра в сборный канал, *16* — промывные желоба, *17* — фильтрующая загрузка

пределительная система. Над ней помещаются гравийные поддерживающие слои, на которые укладывается слой песка. Вода из отстойника подается частично в сборный карман фильтра, откуда поступает по желобам на верхнюю часть загрузки. Основная же масса воды через распределительную систему поступает в нижнюю часть фильтрующего слоя. Очищенная вода собирается и отводится в коллектор с помощью дренажных труб, расположенных на 450—600 *мм* ниже поверхности песка. Промывная вода собирается и отводится в сборный канал и трубопровод сточной воды с помощью желобов.

Фильтр загружают отмытым кварцевым песком, крупность фракций и толщина слоя приведены в табл. 27. Поддерживающие слои

гравия укладываются так же, как и в однопоточных скорых фильтрах (см. стр. 149) Приведенная в табл 27 рас ная скорость фильтрования для фильтров АКХ представляет с й сумму скоростей потоков воды через нижний и верхний слои зернистой загрузки. Во время работы фильтра скорость филь вания через *нижний слой загрузки увеличивается, а через верх... слой, в связи* с ма его грязеемкостью — уменьшается. К концу фильтроцикла скор ь фильтрования через нижний слой достигает 80% суммарной скорости.

При мывке фильтра вначале промывная вода подается в дренажную систему для взрыхления верхнего фильтрующего слоя, затем подключается основ... промывка через нижнюю распределительную систему при о временной подаче воды в дренаж с минимальной интенсивностью для создания противодавления, препятству... попаданию в него заг... ий из нижних слоев. После ...ния промывки нижнюю ...у воды прекращают, а верхнюю продолжают еще *некоторое время для очистки* щелей дренажных труб.

Нижняя распределительная система фильтров АКХ проектируется аналогично трубчатой системе большого сопротивления однопоточных скорых фильтров (см. стр 148).

Дренажная система фильтров АКХ состоит из щелевых винипластовых асбестоцементных или прочных полиэтиленовых труб, уложенных в толще песчаной загрузки на расстоянии 450—*600 мм от по...хности загрузки, считая от оси дренажных труб и* сборного кол тора Щели располагаются рядами параллельно оси труб в шахматном порядке. Длина щелей. в винипластовых трубах 45—60 *мм, в асбестоцементных — до 100 мм.* Шири... щелей 0,4—0,5 *мм.* Расстояние между рядами щелей по вну... ней поверхности не менее 10 *мм,* между смежными щелями в ряду по наружной поверхности — 15—20 *мм.* Скорость движения ы в дренажных трубах не должна превышать 1 *м/сек.* Стыки д... ажных труб жестко укрепляются на опорах из стальных труб или балок прокатных профилей, расположенных перпендикулярно к оси дренажных труб Обычно расстояние между опорами принимается 1,2—1,5 *м.*

Расчет желобов для сбора промывной воды фильтров АКХ выполняется так же, как и для однопоточных фильтров (см. стр 153).

Как уже отмечалось, в двухпоточных фильтрах значительно повышается грязеемкость зернистого фильтрующего материала, но, как видно из приве...го материала, конструкция и управление их работой значите ...ложнее, чем обычных скорых фильтров.

§ 38. Напорные фильтры

Напорные фильтры широко используются в промышленной водоподготовке для осветлени ...оды *после обработки* ее коагулянтами без предварительного ...ания, а также ... безреагентном осветлении воды с сод ...каннем взвешенных ...еств до 20 *мг/л.*

Они представляют собой закрытые стальные цилиндрической формы рез уары со ' рическими днищами, рассчитанные на внутреннее р..бочее дав....ие до 4—6 *ати*. Эти фильтры, как и самотечные, имеют дренажную систему, фильтрующий слой и устройства для сбора фильтрата и отвода промывной воды. Кроме того, их

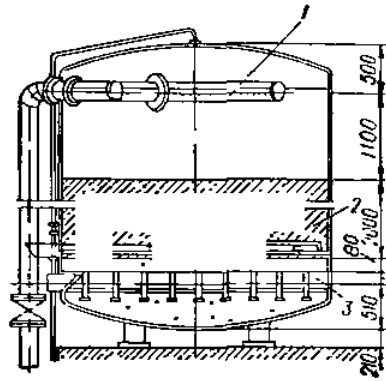
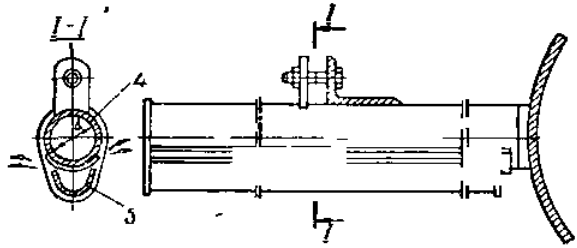


Рис 49 Схема напорного вертикального скорого фильтра (*а*) и деталь его дренажной трубы (*б*)

1 — подача воды на осветление *2* — фильтрующий слой (песок, антрацит), *3*— трубопровод осветленной воды *4* — ответвление распределительной трубы, *5* — защитный козырек.



оборудуют соответствующей арматурой для подвода и отвода фильтр лой воды, а также для подачи промывной воды и воздуха для пр вки.

В практике применяют вертикальные (рис 49) и горизонтальные (рис 50) напорные ' ры. Диаметр вып аемых нашей промышленностью вертик_ х напорных фильт, _ лежит в пределах 1—3,4 *м*, т. е. максимальная поверхность фильтрования не превышает 9,1 *м*². Производите ь каждого такого с ьтра на водах различного качества сост.... г 50—90 *м*³/*ч*; из э...номических соображений количество их на водоподготовительных станциях должно быть в пределах от четырех до шести, т. е они пригодны для станции с полезной производительностью до 300—500 *м*³/*ч*. На фильтровальных ст иях бо оизводительности, где не предоставляется возможность применить открытые железобетонные фил... устанавливают горизо... ные напорные фильтры, обеспеч ие площадь фильтров о 27 *м*².

Таганрогский и Бийский заводы котельного оборудования поставляют вертикальные напорные фильтры с приборами (мано-

метрами) и арматурой, но без противокоррозионной защиты и без фильтрующей загрузки [10, 79] В табл. 29 приведены технологические характеристики зернистых материалов, применяемых в однослойных напорных фильтрах; загрузка их производится через верхний лаз.

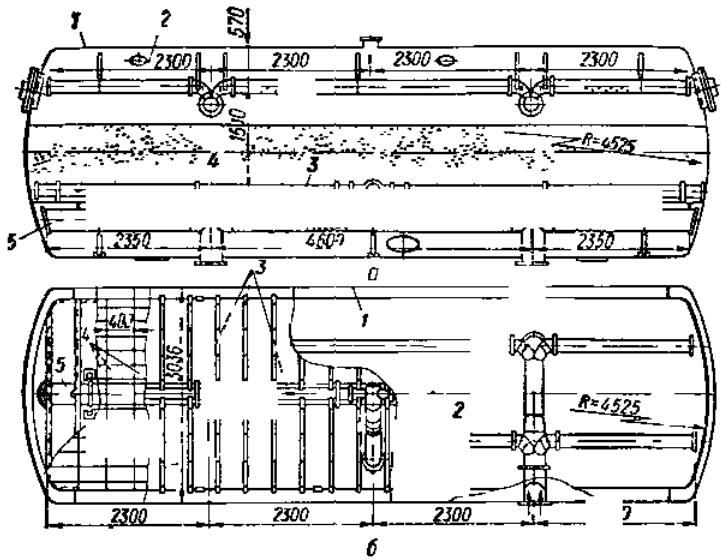


Рис. 50 Горизонтальный напорный фильтр конструкции института Союзводоканалпроект

1 — стальной корпус фильтра; *2* — верхние дырчатые трубы для распределения фильтруемой воды и сброса промывной воды, *3* — распределительная система для сжатого воздуха, *4* — щелевой дренаж; *5* — нижний дырчатый коллектор

Для таких фильтров рекомендуется принимать такую расчетную скорость фильтрования при нормальном режиме с предварительным отстаиванием — 8 *м/ч*, при форсированном — 10 *м/ч;* при нормаль-

Таблица 29. *Технологические показатели загрузки однослойных напорных фильтров*

Фильтрующий материал	Гранулометрический состав			Высота слоя в *мм*	Насыпной вес загрузки	Годовые потери в проц.	Расчетная грязеемкость в *кг/м*³		
	Диаметр в *мм*	Эффективная крупность в *мм*	Коэффициент однородности				безреагентное осветление	известкование или коагуляция с отстаиванием	коагуляция без отстаивания
Кварцевый песок	0,5—1	0,35	2	1200	1,6	10	0,75	1,25	1,5
Мраморная крошка	0,5—1	0,35	2	1200	1,8	10	0,75	1,25	1,5
Дробленый андезит	0,8—1,5	0,60	3	1200	0,8	10	1	1,5	1,75

ном режиме без отстаивания — 4 *м/ч*, при форсированном — 5 *м/ч*. Пот напора в слое фильтрующ загрузки перед промывкой при ..ается равной 10 *м вод. ст.*; ..обходимый напор промывной воды — 10 *м вод ст* Расчетная интенсивность промывки восходящим потоком воды для кварцевого леска и мраморной крошки составляет 15 *л/сек·м²*, для дробленого антрацита — 10 *л/сек·м²*; длител сть промывки — 6 *мин*

В случае применения при промывке сжатого воздуха с подачей его чер нижний дренаж ..ендуется принимать напор воздуха перед с ьтром 1 *ат*, инте ость продувки 20 *л/сек·м²*, длительность продувки 3 *мин*.

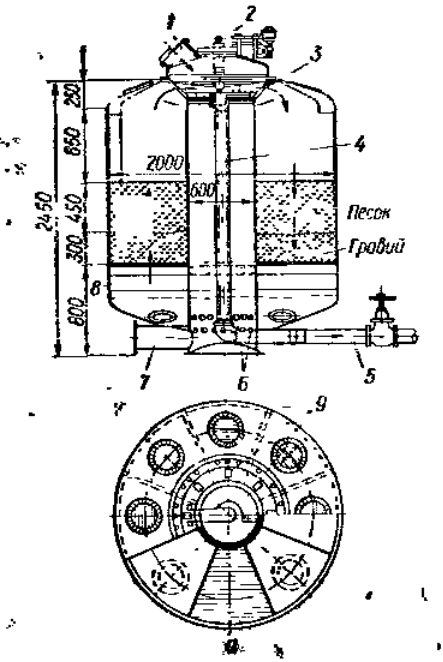
Напорные фильтры, как правило, не имеют гравийных поддерживающих слоев, их дренаж выполняется в виде трубчатой магистрали с ответвлениями, снабженными фарфоровыми и пластмассовыми дренажными колпачками или щелями, прорезанными электроискровым методом. В случае применения водовоздушной промывки специальная распределительная система зается в фильтрующей загрузке над основным дренажем фильтра или применяются колпачки типа В-1, позволяющие производить подачу *воды и воздуха одновременно; вверху фильтра устанавливается* вантуз

О гляемая в а поступает на фильтры под напором насоса, кото й обычно еспечивает не только ее фильтрование, но и подачу в ра ..ящую сеть. В связи с этим отпадает необходимость в насос ..ой станции вт ..ого подъема. В случае пре ..ьной обрабо.... воды коагу....гом раствор его вводится н..... ..ственно в трубу, подводящую воду на фильтры Труба эта заканчивается на фильтре либо воро й с раструбом, обращенным вверх, либо кольцевой дырчатой тр..ой Через эти устройства происходит удаление из фильтра промывной воды. В связи с этим их располагают над зернистой загрузкой на соответствующей расчетной высоте, предусматрива..ой расширение загрузки при промывке.

На фронте фи ..ра имеются трубки, оканчивающиеся вентилями над раковиной Они предназначены для отбора проб фильтруемой воды и фильт га, выпуска духа при напол ..ии, а так для контроля спу.. воды перед ..омывкой без с ..ения фил..рующей загрузки. Здесь же рас ..ожены и манометры, используемые для наблюдения за работой фильтра.

В последние годы получили растпространение *самопромывающиеся фильтры напорные* без задвижек [26, 27]. Принцип их действия основан на промывке фильт ..го слоя при помощи сифона, заряжающегося при возраста..... ..апора перед фильтром до определенного предела вследствие загрязнения зернистой загрузки. Разрядка сифона и прекращение промывки происходит в результате подсо.. ..здуха при ..ополнении бака-нак..ителя промывной воды. При ..ие таких .. целесообра при безреагентном осветлении природных вод, так как с промывной водой уходит часть воды, поступа..цей на фильт В практике водоподготовки для грубого осветл..я воды полу распространение *сверхско-*

ростной фильтр системы Г. Н. Никифорова [80]. Этот фильтр (скорость фильтрования в пределах 25—100 *м/ч*) представляет собой вертикальный стальной резервуар цилиндрической ' рмы, внутри которого размещен второй цилиндр меньшего диаме _ _ (рис. 51, *а*) Кольцевое пространство между стенками обоих цилиндров радиаль но расположенными перегородками разделено на восемь отсеков



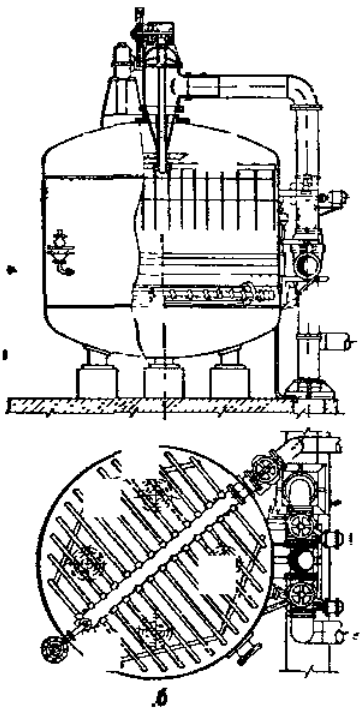


Рис. 51. Схемы сверхскоростных фильтров системы Г Н Никифорова:
а — безмешалочного секционного, *б* — ме ш ного для батарейной установки, *1* — па бок подачи воды *2* — распредели те ... й колпак, *3* — патрубок для отвода промы воды, *4* — центральный стояк *5* — тр провод для отвода промывной воды *6* — отверстия для сбора фильтра, *7* — трубопровод фильтра, *8* — междудон ное пространство, *9* — щели для подвода воды на фильтр

фильтров с песчано-гравийной загрузкой. Фильтруемая вода поступает по трубе в распределительный колпак, а из него через верхние щели в отсеки-фильтры. Из них вода через нижние щели и центральный цилиндр отводится по напорной трубе в резервуар чистой воды Из восьми фильтров постоянно находятся в работе семь, один промывается Последовательное переключение на промывку производится автоматически при помощи специального устройства, приводимого в движение электродвигателем.

В верхней части фильтра вращается патрубок, закрывающий верхнее щелевое окно отсека-фильтра, подвергающегося промывке, и выключающий его из работы.

Вода на промывку подается из междудонного пространства. Грязная вода после промывки через патрубок и центральный стояк по трубе в канализацию. Нет[ая] промывная вода обеспечивает [нор]мальную работу [в] условиях чрезвычайно быстрого загрязнения фильтра. Минимальный фильтроцикл каждой камеры равен 72 *мин* из них продолжительность полезной работы принимается равной 62 *мин* и длительность промывки 6 *мин*.

Фильтр загружен песком с эффективной величиной зерен 0,5 *мм*, толщина фильтрующего слоя 1150 *мм*. В качестве поддерживающих слоев применяют гравий, толщина этих слоев составляет 300 *мм*. Величину необходимого напора перед фильтром принимают равной не менее 2,5 *ати*. Производительность фильтра при максимально допустимом диаметре не превышает 150 *м³/ч*.

Для фильтрования [в] установки [боль]шей производительности Г. Н. Никифоровым предложен батарейный тип установки, состоящей из нескольких напорных сверхскоростных мешалочных фильтров, оборудованной автоматическим дистанционным управлением. Схема мешалочного сверхскоростного фильтра приведена на рис. 51, *б*.

При определении производительности фильтра или батареи фильтров принимается средняя расчетная скорость фильтрации

$$v_{ср} = \frac{v_н - v_к}{2}, \qquad (77)$$

где $v_н$ и $v_к$ — начальная и конечная скорости фильтрации в *м/ч*.

Полная производительность фильтра или батареи в течение одного цикла в *м³* при этом равна

$$Q_ф = F v_{ср} \frac{t_р}{60}. \qquad (78)$$

где F — фильтрующая поверхность в *м²*;

$t_р$ — продолжительность полезной работы фильтров в *мин*.

Расход промывной воды в течение цикла в *м³* составляет:

$$q_ф = F \frac{w}{1000} t_п \cdot 60, \qquad (79)$$

где $t_п$ — продолжительность промывки в *мин*;

w — интенсивность промывки в *л/сек·м²*.

Полезная производительность установки в *м³/ч* равна

$$Q = (Q_ф - q_ф) \cdot \frac{t}{60}, \qquad (80)$$

где t — длительность фильтроцикла в *мин*.

§ 39. Пример расчета фильтров

Рассчитать скорые самотечные фильтры для очистных сооружений производительностью 37500 *м³/сутки*. Принимая расчетную скорость фильтрации 6,0 *м/ч*, продолжительность работы очистных сооружений в течение суток 24 *ч*, число промывок фильтра 2, интенсивность промывки фильтра 14 *л/сек·м²*, продолжительность промывки фильтра — 0,1 *ч*, время простоя фильтра во время промывки 0,33 *ч*, продолжительность сброса первого фильтрата в сток 0,17 *ч*, по формуле (61) находим общую площадь фильтров.

$$F = \frac{37\,500}{24 \cdot 6 - 3{,}6 \cdot 2 \cdot 14 \cdot 0{,}1 - 2 \cdot 0{,}33 \cdot 6} = 290 \text{ м}^2.$$

Число фильтров ориентировочно можно определить по формуле (62)

$$N = \frac{1}{2}\sqrt{290} \cong 8{,}5.$$

Принимаем число фильтров $N=8$, тогда площадь каждого из них составит $290 : 8 = 36{,}25$ *м²*. Принимаем размеры фильтрующей поверхности $5{,}75 \times 6{,}3$ *м*.

Высота слоя загрузки песка равна 700 *мм*. Фильтр загружают частицами, минимальный диаметр которых 0,5 *мм*, максимальный — 1,2 *мм*. Скорость фильтрования при форсированном режиме можно определить по формуле (63).

$$v_{р.ф} = 6 \cdot \frac{8}{7} \cong 7 \text{ м/ч} < 7{,}5 \text{ м/ч}.$$

Скорость фильтрования при форсированном режиме отвечает требованиям, приведенным в табл. 27, следовательно количество фильтров вычислено правильно.

Для расчета распределительной системы определим количество воды, необходимое для промывки одного фильтра

$$q_1 = 36{,}25 \cdot 14 = 507{,}5 \text{ л/сек}.$$

Диаметр центрального коллектора определяется по скорости движения промывной воды у входа, которая не должна быть больше 1 *м/сек*.

Принимаем диаметр коллектора $d = 800$ *мм*, при этом скорость движения промывной воды при расходе 507,5 *л/сек* будет равна 1,01 *м/сек*, что допустимо (см. стр. 149).

Если принять расстояние между осями ответвлений дренажа от коллектора 0,25 *м* (см. стр. 148), то площадь фильтра, приходящаяся на каждое ответвление распределительной системы при наружном диаметре коллектора 830 *мм*, определим из выражения

$$\left(\frac{6{,}3 - 0{,}83}{2}\right) \cdot 0.25 = 0{,}68375 \text{ м}^2,$$

а расход воды на одно ответвление будет равен

$$0\,68375 \cdot 14 \cong 9{,}57 \text{ л/сек}.$$

При скорости движения воды у входа в ответвление 1,90 *м/сек* диаметр труб ответвлений будет равен 80 *мм*.

Суммарная площадь отверстий в трубах ответвлений фильтра согласно указаниям, содержащимся на стр. 148, равна

$$36{,}25 \cdot 0{,}25 : 100 = 0{,}09062 \ м^2.$$

При диаметре отверстия 12 *мм* площадь его равна 0,000113 $м^2$, количество отверстий в дренаже одного фильтра будет равно $0{,}09062 : 0{,}000113 \cong 802$ шт.

Число ответвлений в фильтре 2 $(5{,}75 : 0{,}25) = 46$, следовательно, на каждом ответвлении должно быть отверстий

$$802 : 46 \cong 17.$$

При длине ответвлений $(6{,}3 — 0{,}83) : 2 = 2{,}735$ *м*, шаг отверстий равен $2{,}735 \cdot 1000 : 17 \cong 160$ *мм*.

Отверстия необходимо располагать в два ряда в шахматном порядке под углом 45° к вертикальной оси трубы.

При расчете желобов для сбора и отвода промывной воды принимаем расстояние между их осями равным 1,6 *м*. Количество желобов при этом равно

$$6{,}3 : 1{,}6 = 4.$$

По формуле (73) находим расстояние от кромок желобов до уровня фильтрующей загрузки.

$$\Delta h_ж = \frac{0{,}75 \cdot 45}{100} + 0{,}25 = 0{,}57 \ м.$$

Относительное расширение фильтрующей загрузки $e = 45\%$ (см. табл. 28).

Расход воды через один желоб при промывке по формуле (74) равен

$$q_ж = \frac{14 \cdot 1{,}6 \cdot 5{,}75}{10\,000} = 0{,}129 \ м^3/сек.$$

Ширину желоба определим из формулы (75)

$$B = 2{,}1 \sqrt[5]{\frac{(0{,}129)^2}{(1{,}57 + 1{,}5)^3}} = 0{,}46 \ м.$$

Значение коэффициента $K = 2{,}1$ (см. стр. 155).

Высота прямоугольной части желоба $h_{пр} = 0{,}75 \cdot B = 0{,}34$ *м*.

Полезная высота желоба $h = 1{,}25 \cdot B = 0{,}57$ *м*.

С учетом толщины стенки высота желоба $h_к = 0{,}57 + 0{,}05 = 0{,}62$ *м*.

Следовательно, высоту кромки желоба над фильтрующим слоем, определенную по формуле (73), необходимо увеличить по конструктивным соображениям до величины

$$\Delta h_ж = h_к + 0{,}05 = 0{,}67 \ м,$$

где 0,05 — расстояние от низа желоба до фильтрующей загрузки.

Продолжительность работы фильтра между промывками составит

$$T = 12 — (0{,}1 + 0{,}33 + 0{,}17) = 11{,}4 \ ч.$$

Расход воды на промывку фильтра в проц. можно вычислить по формуле (70)

$$P_{\Phi} = \frac{14 \cdot 36{,}25 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 8 \cdot 100}{37500 \cdot 24 \cdot 11{,}4 \cdot 1000} \cong 10{,}2\%.$$

Потери напора при промывке скорого фильтра определяем:

1) в дренажной системе большого сопротивления по формуле (66), учитывая, что $K_w = 0{,}09062 \cdot 0{,}5024 = 0{,}18$

$$h_{\text{д}} = \left(\frac{2{,}2}{0{,}18^2} + 1\right)\frac{1{,}01^2}{2 \cdot 9{,}81} + \frac{1{,}90^2}{2 \cdot 9{,}81} = 3{,}54 \text{ м};$$

2) в поддерживающих слоях гравия по формуле (67)

$$h_{\text{п.с}} = 0{,}022 \cdot 0{,}5 \cdot 14 = 0{,}155 \text{ м};$$

3) в фильтрующем слое из соотношения (68)

$h_{\Phi} = (0{,}76 + 0{,}017 \cdot 14) \cdot 0{,}7 \cong 0{,}7$ *м* (значения коэффициентов a и b см. в формуле (68);

4) в трубопроводе, подводящем промывную воду к общему коллектору распределительной системы, при длине трубопровода, равной 50 *м* и диаметре 600 *мм* ($v = 1{,}74$ *м/сек*);

$$h_{\text{тр}} = il = 0{,}0062 \cdot 50 = 0{,}31 \text{ м};$$

5) на местные сопротивления в фасонных частях и задвижке определяют по формуле

$$h_{\text{м.с}} = \Sigma K \frac{v^2}{2g}.$$

В нашем примере на трубопроводе, подающем промывную воду, установлена одна задвижка ($K_1 = 0{,}26$), три отвода под углом 90° ($K_2 = 0{,}984$), один тройник ($K_3 = 0{,}92$).

Следовательно, потери на местные сопротивления составят

$$h_{\text{м.с}} = (0{,}26 + 3 \cdot 0{,}984 + 0{,}92 \cdot 1)\frac{(1{,}74)^2}{2 \cdot 9{,}81} \cong 0{,}62 \text{ м}.$$

Сумма потерь напора при промывке фильтра составит

$$\Sigma h = 3{,}54 + 0{,}16 + 0{,}70 + 0{,}31 + 0{,}62 = 5{,}33 \text{ м}.$$

Геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды до верхней кромки промывных желобов

$$h_{\text{г}} = 0{,}67 + 1{,}2 + 4{,}0 = 5{,}87 \text{ м},$$

где 0,67 — высота кромки желоба над фильтрующей поверхностью:

1,2 — высота загрузки фильтра,

4,0 — глубина воды в резервуаре

Необходимый напор промывного насоса

$$H = h_{\text{г}} + \Sigma h + h_{\text{з н}} = 5{,}87 + 5{,}33 + 1{,}5 = 12{,}70 \text{ м},$$

$h_{\text{з н}} = 1{,}5$ — запас напора (на первоначальную загрузку фильтра).

Производительность промывных насосов определяем по формуле (72)

$$Q_{\text{нас}} = 3{,}6 \cdot 36{,}25 \cdot 14 = 1827 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для определения диаметров трубопроводов, служащих для подачи и отвода воды, пользуются таблицами для гидравлического расчета труб, составленными по формуле ВОДГЕО. Основным параметром подводящих труб является скорость движения воды, рекомендованная СНиПом.

ГЛАВА VIII

КОНТАКТНЫЕ ОСВЕТЛИТЕЛИ И ФИЛЬТРЫ

§ 40. Коагуляция в слое зернистой загрузки

Очистка коагулянтами природных вод с малой мутностью весьма затруднительна, особенно при низких температурах. Процесс коагуляции интенсифицируется, если воду после дозирования в нее реагентов фильтровать через зернистые загрузки, в слое которых происходит так называемая контактная коагуляция (см. стр. 124) [Л. 33].

При введении в воду коагулянтов — гидролизующихся солей алюминия или железа, за короткий промежуток времени перед началом фильтрования успевают образоваться лишь микроагрегаты частиц гидроокисей с сорбированными примесями. Последующее их укрупнение с образованием хлопьев происходит в слое фильтрующей загрузки в результате прилипания коагулирующих частиц к зернам загрузки.

Коагуляция в слое зернистых материалов протекает полнее и во много раз быстрее, чем обычная коагуляция в свободном объеме. Дозы коагулянта следует брать больше, так как для контактной коагуляции необходимо лишь снизить агрегативную устойчивость взвешенных веществ, обеспечивая их прилипание к поверхности. Эти дозы, как правило, в обычных условиях обработки воды не приводят к образованию крупных, хорошо осаждающихся хлопьев. На процесс контактной коагуляции почти не влияет температура воды и ее щелочность.

Оптимальную дозу коагулянта устанавливают на основании кривых контактной коагуляции, характеризующих зависимость цветности или мутности воды от дозы коагулянта при фильтровании ее через бумажный фильтр. Оптимальная доза принимается на 5—10% больше дозы, отвечающей границе резкого спада кривой.

Обычные скорые фильтры, загруженные кварцевым песком, могут нормально эксплуатироваться, если количество взвешенных скоагулированных частиц в поступающей воде не превышает 8—12 *мг/л*; при содержании взвеси более 50 *мг/л* они становятся неэкономичными. В связи с этим для увеличения грязеемкости зернистых загрузок, что позволяет обрабатывать воду при малых потерях напора, при контактной коагуляции вода с реагентами поступает вначале на фильтрующие слои с крупным гранулометрическим составом и лишь после освобождения от основной массы выделяющихся взвешенных веществ профильтровывается через

слои с мелкими зернами В контактных осветлителях с фракционированным слоем кварцевого песка фильтрование осветляемой воды осуществляется снизу вверх, в контактных фильтрах с двух- или многослойной, а также крупнозернистой загрузкой поток воды, как в обычных скорых фильтрах, направлен сверху вниз.

При использовании на станциях обработки воды коагуляции в слое зернистой загрузки отпадает необходимость в таких сооружениях, как камеры хлопьеобразования, отстойники или осветлители. Возможность применения одноступенчатой технологической схемы очистки и обесцвечивания воды с полным исключением контактных осветлителей по данным табл. 18 ограничивается содержанием в ней взвешенных веществ (с учетом вводимых реагентов) до 150 *мг/л*, при цветности воды до 150°.

Большое количество поверхностных источников водоснабжения имеет воду с качественными показателями, близкими к рекомендованным для контактных осветлителей, т. е. вода в них относится к группе маломутных цветных вод.

§ 41. Контактные осветлители

Контактные осветлители являются своеобразной разновидностью скорых фильтров, работающих на принципе фильтрования воды с добавленным коагулянтом через слой зернистой загрузки снизу вверх, т. е. в направлении убывания крупности зерен в слое.

Схема контактных осветлителей типа КО-1 приведена на рис 52 Эти осветлители имеют четыре регулирующие задвижки, дренажную систему и сборные желоба; для их загрузки применяют гравий и кварцевый песок

Общая толщина поддерживающих гравийных слоев и их гранулометрический состав применяются такие же, как и в обычных скорых фильтрах (см. стр. 149).



Рис 52 Схема устройства контактного осветлителя

1 — отвод осветленной воды, *2* — отвод промывной воды, *3* — подача воды с коагулянтом, *4* — подача промывной воды, *5* — распределительная система из дырчатых труб, *6* — сборные желоба, *7* — карман фильтра.

Для загрузки контактных осветлителей применяют песок с размером зерен от 0,5 до 2 *мм*. Если отсутствуют результаты технологических испытаний, то высоту фильтрующего слоя в зависимости от типа распределительной системы принимают в пределах от 2,0 до 2,5 *м* при эквивалентном диаметре зерен 0,9—1,0 *мм* и коэф-

фициенте неоднородности до 2,5. В загрузке контактных осветлителей не должно быть фракций песка меньше 0,5 *мм*, которые выносятся восходящим потоком воды при их работе. При соответствующем обосновании допускается применять другие фильтрующие материалы, отвечающие санитарно-гигиеническим требованиям, а также имеющие соответствующую плотность, механическую прочность и химическую стойкость.

Расчетную скорость фильтрования на контактных осветлителях принимают в зависимости от числа осветлителей на станции по следующим рекомендациям.

Количество осветлителей . .	2	3	4	5	6 и более
Скорость фильтрования $v_р$ в *м/ч*	3	4	4,5	4,8	5

Время работы контактных осветлителей между промывками при нормальном режиме составляет 8—12 *ч*. В случае форсированного режима (при ремонте одного из осветлителей) скорость фильтрования не должна превышать 6 *м/ч*, а продолжительность рабочего цикла должна быть не менее 6 *ч*. Если количество осветлителей на станции более 20, то фильтроцикл рассчитывают по формуле (64) с учетом времени простоя контактного осветлителя в связи с промывкой (0,33 *ч*) и сбросом после этого первых объемов осветленной воды (0,17 *ч*).

Площадь контактных осветлителей F в $м^2$ рассчитывают по формуле

$$F = \frac{Q}{Tv_{ср} - 3{,}6nwt_1 - nt_2v_р - nt_3v_р}, \qquad (81)$$

где Q — полезная производительность станции в $м^2$/*сутки*;

T — продолжительность ее работы в течение суток в *ч*;

$v_р$ — расчетная скорость фильтрования в $м^3/ч$;

w — интенсивность промывки осветлителей, принимается равной 13—15 $л/сек \cdot м^2$;

n — количество промывок каждого осветлителя в сутки, принимается в пределах 2—3;

t_1 — продолжительность одной промывки, принимается равной 0,133 *ч*;

t_2 — время простоя осветлителя в связи с промывкой, принимается равным 0,33 *ч*;

t_3 — время, затрачиваемое на сброс первых объемов осветленной воды, принимается равным 0,17 *ч*.

Контактные осветлители могут работать в двух режимах: при постоянной скорости фильтрования на протяжении всего рабочего цикла и со скоростью, постепенно убывающей к концу цикла так, чтобы средняя ее величина равнялась расчетной. В первом случае при проектировании предусматривается регулирование подачи воды осветлители независимо от их количества. Во втором случае следует иметь в виду, что при выключении одного из осветлителей на промывку скорость фильтрования на остальных осветлителях не должна увеличиваться более чем на 15%, это возможно,

если их на станции не меньше шести. При меньшем числе осветлителей необходимо предусматривать ограниченную подачу воды в период промывки одного из них.

Для промывки контактных осветлителей может быть использована очищенная или неочищенная вода, если мутность последней не превышает 10 *мг/л*, а коли-индекс — 1000 *ед/л*. Производится она восходящим потоком воды, подаваемой с интенсивностью 13—15 *л/сек·м²* в течение 7—8 *мин*. Возможно также совместное применение воды и воздуха. Устройства для подачи промывной воды рассчитывают так же, как и для скорых фильтров (см. стр. 162). Количество воды в процентах, расходуемой на промывку, определяют по формуле

$$P_{\text{к.п}} = \frac{wN}{qT} \cdot 100 \qquad (82)$$

где N — количество осветлителей

Для равномерного распределения воды для промывки по всей площади в контактных осветлителях предусматривают распределительные системы трубчатую — большого сопротивления с гравийными подстилающими слоями или безгравийную систему; в первом случае отношение отверстий распределительной системы к площади контактного осветлителя принимают равным 0,2%, а во

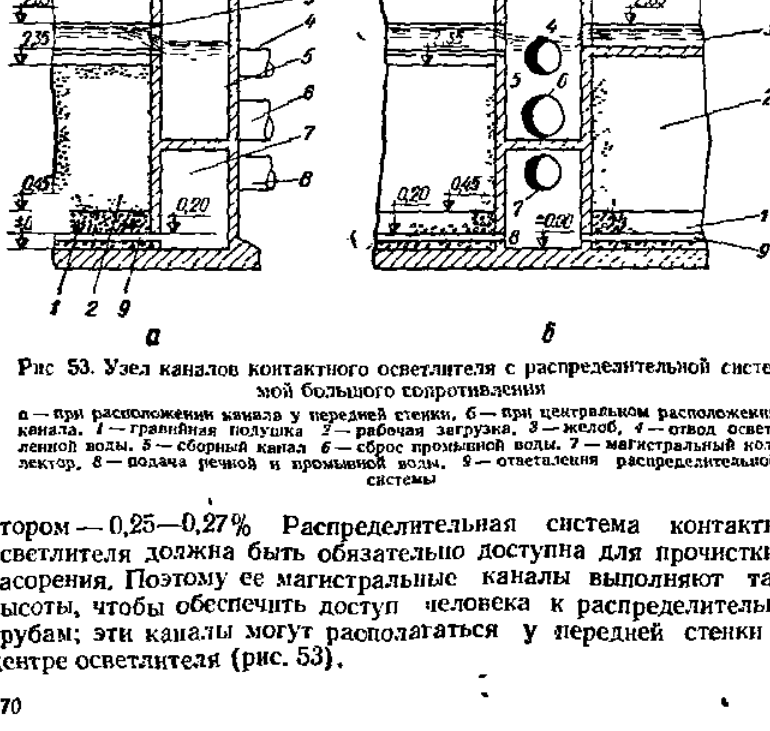


Рис 53. Узел каналов контактного осветлителя с распределительной системой большого сопротивления

а — при расположении канала у передней стенки, б — при центральном расположении канала. *1* — гравийная подушка *2* — рабочая загрузка, *3* — желоб, *4* — отвод осветленной воды, *5* — сборный канал *6* — сброс промывной воды, *7* — магистральный коллектор, *8* — подача речной и промывной воды, *9* — ответвления распределительной системы

втором — 0,25—0,27% Распределительная система контактного осветлителя должна быть обязательно доступна для прочистки от засорения. Поэтому ее магистральные каналы выполняют такой высоты, чтобы обеспечить доступ человека к распределительным трубам; эти каналы могут располагаться у передней стенки и в центре осветлителя (рис. 53).

Проектирование трубчатой рас ительной системы большого сопротивления с гравийными под щими слоями, а также желобов для сбора осветленной воды и отвода промывных вод производится по тем же рекомендациям, что и для скорых фильтров (см. стр. 148 и 153).

Учитывая, что поток воды в контактных осветлителях как при работе, так и при промывке, направлен всегда снизу вверх, они могут бы оборудованы распределительными устройствами без ядстил ших сл . В о тлителях с безгравий й трубчатой распределительной системой под трубами ответвлений устраивают ейки, охв ие одно или два с рстия. Для этого вдоль ковых об, х этих труб прива, ают вертикальные шторки и поперечные перегородки между ними. Высота шторок и их расположение в подтрубном пространстве приведены в табл. 30.

Таблица 30. *Основные размеры безгравийной распределительной системы*

Диаметр труб ответвлений в *мм*	Расстояние в *м* между		Высота в *мм* о	торки
	труб ответвлений	отверстий в трубах	до дна осветлителя	до оси труб осветлителя
75	240—260	130—140	70—80	100
100	280—300	140—160	90—100	120
125	320—340	160—180	110—120	120
150	360—380	180—200	130—140	120

В случае использования водовоздушной промывки интенсивность подачи воздуха через отдельную распределительную систему должна быть порядка 18—20 *л/сек·м*^{2} (см. стр. 149).

В контактных осветлителях профильтрованная вода отводится через сборные желоба с треугольны водосливами высотой 40—60 *мм*, расположенные над поверхн ью фильтрующего слоя таким образом, чтобы кромка (верх) сборного желоба была на 1,0—1,1 *м* выше поверхности песка. Расстояние между осями треугольных водосливов должно быть не более 100—150 *мм*.

Необходимый напор перед контактными осветлителями (от уровня кромок переливных же бов) определяется суммой потерь напора в загрузке и в подво щих коммуникациях с учетом местных сопротивлений и в их числе в расходомере для измерения скорости фильтрации.

На очистных сооружениях хозяйственно-питьевых водопроводов зеркало воды контактных осветлителей изолируют от коридора управления остекленными перегородками высотой не менее 2,5 *м* с глухой нижней панелью 1—1,2 *м*.

При проектировании станций обработки воды с контактными осветлителями предусматривают выделение из поступающей воды растворенных газов и о ственно улавливание п й крупной и си, которая мо ять отверстия рас ительных систем. Если в воде источника водоснабжения содержатся нефтя-

ные продукты в эмульгированном состоянии, то для их удаления обходимо предварительно пропускать воду через специальные гравийные фильтры

Для предотвращения попадания в распределительную систему и загрузку осветлителей водорослей, рыбы, песка, крупного ила, а также воздуха рекомендуется перед ними устраивать входные камеры (рис 54) Объем их рассчитывается на время пребывания во-



Рис. 54 Входная камера контактного осветлителя (типа Гипрокоммунводоканала)

1 — трубопровод отвода воды на осветлители, *2* — смеси[тель], *3* — поплавковый клапан, *4* — подача [коагулянта], *5* — дозировочный бачок, *6* — труб[опровод], подающий воду из источника, *7* — спускной трубопровод

ды в течение 2—3 *мин*. В таких камерах устанавливают съемные сетки с отверстиями 2—4 *мм* для задержания плавающих предметов. Необходимая рабочая площадь сеток определяется по расчетной скорости прохождения через них осветляемой воды 0,2—0,3 *м/сек*. При непрерывной работе станции входные камеры должны состоять из двух отделений, их оборудуют спускными и переливными трубами, а также приспособлениями для подъема и промывки сеток. Дно камер устраивают с наклонными стенками под углом 50—60° к горизонтали Уровень воды в них должен быть 2,5—3,0 *м* выше кромки желобов в осветлителях, этим обеспечивается напор, необходимый для нормальной эксплуатации контактных осветлителей.

Для защиты распределительных систем осветлителей от засорения по рекомендации АКХ РСФСР могут использоваться барабанные сетки с размерами 0,5×0,5 *мм*, предназначенные для грубого процеживания воды.

После входных камер или барабанных сеток воду направляют в дырчатый смеситель, где к ней добавляют реагенты. Их можно вводить и в трубопровод, подводящий обрабатываемую воду к контактным осветлителям, но без применения эжектора (см. стр 91). Растворы реагентов должны быть осветленные

Станции обработки воды с контактными осветлителями в настоящее время эксплуатируются на водопроводах ряда городов Советского Союза (Куйбышев, Уфа, Ленинград и др)

К недостаткам одноступенчатой схемы осветления и обесцвечивания воды с применением контактных осветлителей типа КО-1 следует отнести: постоянную угрозу загрязнения распределитель-

ной системы, что свя[illegible] с нарушением нормального режима работы сооружений, пот[illegible]ность в предварительной грубой очистке воды, что удорожает строительную стоимость очистных сооружений и ув[illegible]чивает з[illegible] на их эк[illegible]уатацию; невозможность ф[illegible]орсирова[illegible]ия произ[illegible]льности ст[illegible]ий обработки воды в периоды максимального водопотребления

§ 42. Контактные фильтры

В контактных фильтрах, в работе которых также используется явление контактной коагуляции, вода с добавленными к ней реагентами, в отличие от контактных осветлителей, фильтруется через зернистые загрузки в направлении сверху вниз, т е как в обычных скорых фильтрах. Для увеличения грязеемкости фильтрующей загрузки ее делают двух- или многослойной, а также из крупнозернистого материала.

Схемы контактных фильтров приведены на рис. 55; конструкции КФ-2 с двухслойной загрузкой и КФ-3 с крупнозернистой загрузкой разрабатывались кафедрой водоснабжения ЛИСИ и Ленинградским отде[illegible]нием института «Гипрокоммунводоканал», а КФ-5 с трехслойно[illegible]загрузкой — в Секторе химии и технологии воды ИКХХВ АН УССР [75]. Характеристика с[illegible]ьтрующих загрузок этих фильтров приведена в табл. 31

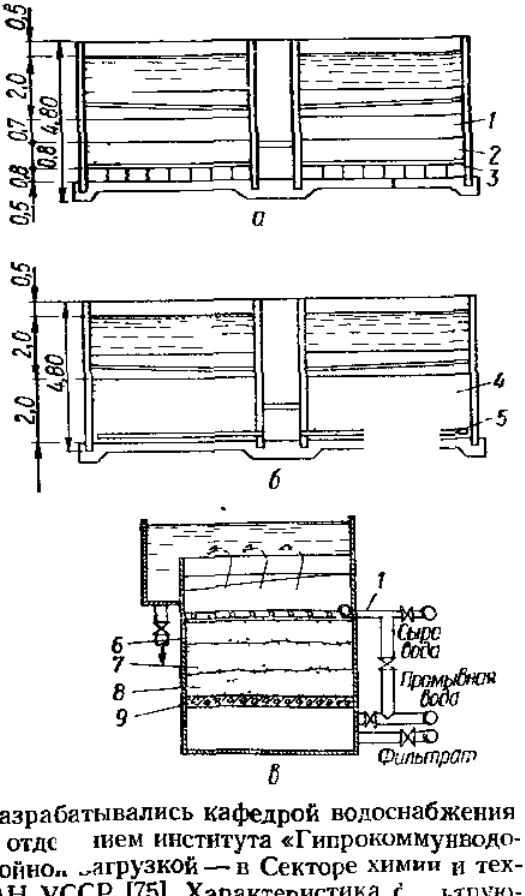


Рис. 55 Конструктивные схемы контактных фильтров

а — двухслойный фильтр КФ-2 *б* — крупнозернистый фильтр КФ-3 *в* — трехслойный фильтр КФ-5. *1* — дробленый антрацит крупностью 0,8—1,8 *мм*, *2* — кварцевый песок крупностью 0,5—1,2 *мм*, *3* — распределительная система из пористых керамических ниток, *4* — кварцевый песок крупностью 0,9—1,8 *мм*, *5* — р[illegible]ительная система из вин[illegible]ых щелевых труб, *6* — керамзитовая крошка крупностью 1,5—2,5 *мм*, *7* — дробленый антрацит крупностью 0,8—1,8 *мм*; *8* — кварцевый песок крупностью 0,5—1,2 *мм*, *9* — распределительная система из пористого бетона.

Таблица 31. *Характеристика фильтрующих загрузок контактных фильтров*

Фильтр	Загрузка		
	Слой		Крупность
	в м		в мм
КФ 2	Антрацитовая крошка		
	0,7		0,8—1,8
	Кварцевый песок		
	0,8		0,9—1,8
КФ-3	Кварцевый песок		
	2,0		0,9—1,8
КФ-5	Керамзит		
	0,5		2,3—3,3
	Аглопарит		
	0,5		1,25—2,3
	Кварцевый песок		
	0,5		0,7—1,25

В контактных фильтрах рекомендуется применять дре ки без подстилающих слоев с распределительной системой из к мических пористых плиток или винипластовых щелевых труб Грязеемкость их загру примерно такая же, как и у контактных осветлителей, а эксп атационные затраты несколько ниже. При использовании контактных фильтров отпадает необходимость в строительстве сооружений или установке специального оборудования для защиты распределительных систем от загрязнения.

Важным преимуществом контактных фильтров является возможность значительного форсирования их работы путем повыше- ости ф ования до 9 *м/ч* с одновременным увеличением подача ы в водопроводную сеть в период максимального водопотребления

В результате п зведенных испытаний контактных фильтров установлено, что р створ коагулянта следует подавать в воду непосредственно перед поступлением ее в фильтрующую загрузку Контактные фильтры целесообразно применять в одноступенчатых схемах обработки воды при общем количестве взвеси в ней 50—60 *мг/л*.

§ 43. Пример расчета контактных осветлителей

Рассчитать контактные осветлители для станций обработки воды производительностью 1000 *м³/ч* для поверхностного ис точника водоснабжения. Цветность воды 40 *град*, количество взвешенных веществ 140 *мг/л*. Объем входной камеры определяется при

продолжительности пребывания воды в ней $t=2{,}5$ *мин* из следующего выражения

$$W_{вх\,к}=\frac{qt}{60}=\frac{1000\cdot 2{,}5}{60}=40\ м^3.$$

В соответствии с указаниями СНиП принимаем две последовательно включенные входные камеры глубиной 2,5 *м* и площадью каждая

$$F_{вх.к}=W_{вх\,к}:h=40:2{,}5=8\ м^2.$$

Принимаем размеры камеры в плане 2,85×2,85 *м*.

Высота камеры должна быть на 2,5—3,0 *м* выше кромки желобов в осветлителях при с овой отметке дна

Размеры сеток в пер м отверстии определяем, исходя из скорости воды в ячейках сетки 3×4 *мм* — 0,2 *м/сек*

$$F_{сеток}=\frac{q}{3600v_c}=\frac{1000}{3600\cdot 0{,}2}\cong 1{,}4\ м^2,$$

При прое ании контактных осветлителей принимаем следующие тех ческие показатели:

Продолжительность работы	24 *ч*
Расчетная с льтрования	5 *м/ч*
Интенсивно ки	15 *л/сек. м²*
Про кители ивки	8 *мин* (0 133 *ч*)
Про кители первого фильтра	10 » (0,17 *ч*)
Продолжительность простоя в связи с промывкой	20 » (0,33 *ч*)
Продолжительность рабочего цикла	6 *ч*

Используя формулу (81) и технологические показатели, определяем суммарную площадь фильтрования для контактных осветлителей:

$$F=\frac{24\,000}{24\cdot 5-3{,}6\cdot 3\cdot 15\cdot 0\,133-3\cdot 0{,}33\cdot 5-3\cdot 0{,}17\cdot 5}=264\ м^2.$$

Количество контактных осветлителей должно быть:

$$N_{к\,о}=\frac{1}{2}\sqrt{F}=\frac{1}{2}\sqrt{264}\sim 8\ шт.$$

При восьми контактных осветлителях площадь каждого из них будет равна 33 $м^2$

Принимаем конструкцию осветлителей с центральным каналом шириной 0,8 *м* и распределительной системой большого сопротивления. При этом площадь каждого отделения равна 16,5 $м^2$ с размерами 5,5×3,0 *м*. Габариты контактного осветлителя составят 5,5×6,8 *м* (с учетом ширины центрального канала 0,8 *м* без учета толщины стенок контактного осветлителя).

Скорость фильтрования при форсированном режиме (когда один осветлитель отключен на промывку) определим из соотношения:

$$v_{фр}=5\cdot\frac{8}{8-1}=5{,}7\ м/ч,$$

это меньше 6 *м/ч* (максимально допускаемой скорости при форсированном режиме контактных осветлителей), следовательно, количество осветлителей подобрано правильно.

Расчет и конструирование желобов и распределительной системы, определение потерь напора при промывке и определение напора насосов для подачи промывной воды производится аналогично изложенному в гл. VII.

ГЛАВА IX

БЕЗРЕАГЕНТНАЯ ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД

§ 44. Предварительное осветление воды. Радиальные отстойники. Гидроциклоны

Нерастворимые примеси природной воды, обусловливающие ее мутность, кинетически неустойчивы; при малой скорости потока они выделяются из воды под действием силы тяжести. Процесс выделения гетерофазных примесей из воды очень экстенсивный и для его протекания необходимы большие площади очистных сооружений, в других условиях очистка происходит неполно. В табл. 32 приведены данные по осаждению в воде частиц различной крупности.

Таблица 32. *Скорость осаждения частиц в воде при температуре 10°С*

Частицы	Диаметр частиц в *мм*	Скорость осаждения в *мм/сек*	Время осаждения частиц на глубину 1 *м*
Крупный песок	1,0	100	10 *сек*
Мелкий песок	0,1	8	2 *мин*
Ил	0,01	0,154	2 *ч*
Глина	0,001	0,00154	7 дней
Мелкая глина	0,0001	0,0000154	2 года
Коллоидные частицы	0,00001	0,000000154	200 лет

Из табл. 32 видно, что при емкости отстойников, обеспечивающей пребывание в них воды в течение 12—24 *ч*, задерживается лишь грубодисперсная часть.

Поэтому безреагентное осветление применяется главным образом в качестве первой ступени в схемах двухступенчатым отстаиванием, применяемым для очистки воды с содержанием взвешенных веществ более 2500 *мг/л*, а также для предварительного осветления воды, поступающей на медленные фильтры, если мутность ее превышает 250 *мг/л*.

Как первичные отстойники могут рассматриваться подводящие воду каналы, а также ковши. Последние представляют собой специальные бассейны, соединенные с водным источником; они облегчают работу очистных сооружений, являясь местом предварительного отстаивания воды и своего рода буфером, сглаживающим колебание ее состава. Наличие ковша также значительно облегчает забор воды при образовании донного льда и шуги.

Для предварительного осветления воды от грубодисперсных примесей применяют горизонтальные, или радиальные, отстойники с

механическим удалением осадка; при соответствующем обосновании допускается также использование гидроциклонов Горизонтальные отстой м в данном случае могут изготовляться земляными с соответст ющим образом закрепленными откосами, расчет их производят по формулам, приведенным на стр. 116

Радиальные отстойники представляют собой круглые в плане бассейны, оборудованные устройствами для непрерывного удале-

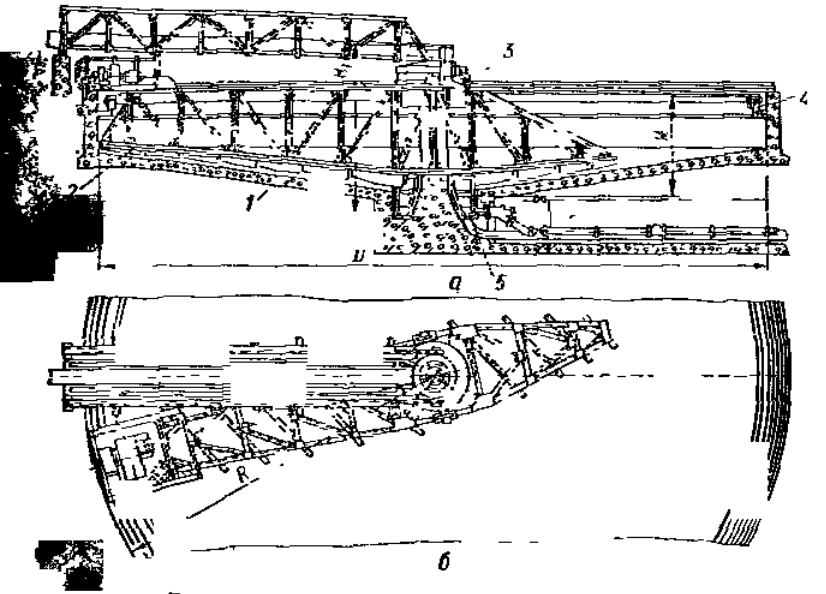


Рис. 56. Радиальный отстойник *а* — р — план,
1 — бетонный резервуар *2* — ферма со скребком, *3* — ительное устройство
4 — сборный желоб, *5* — приямок для осадка

 из н выпадающей в осадок взвеси (рис. 56) Водораспределительное устройство рекомендуется помещать в центре и проектировать его в це п а, заглушенный нижний торец кот го ем воды на глубине, равной глубине отстойника у периферийной стенки (рис. 57, *а*) Радиус цил принимают в п х 2—4 *м;* большая величина — для от ков с производ ностью свыше 5 тыс. *м*³*/ч.* Диаметр отверстий рассчитывают имая скорость жения в них 1 *м/сек* Выход из отверстий разно экран ь сферическими или коническими успо и для умень длины зоны повышенной турбулентн образующейся за дырчатой перегородкой (рис 57, *б*) Осветл вода собирается периферийным кольцевым желобом с т ельными водосливами или с затопленными отверстиями Дно отстойника вып яют с уклоном к центру, где предусматривается приямок для осадка, сгребаемого вращающимися фермами со скребками.

Площадь радиальных отстойников F в $м^2$ рассчитывают по формуле

$$F = 0{,}2\left(\frac{q}{u_0}\right)^{1{,}07} + f, \qquad (83)$$

где q — расчетный расход воды в $м^3/ч$;

u_0 — скорость выпадения взвеси, задерживаемой отстойником, в *мм/сек*. Ее величину принимают по данным технологического анализа или опыта эксплуатации радиальных отстойников в аналогичных условиях;

f — площадь вихревой зоны, радиус ее принимают на 1 $м$ больше радиуса водораспределительного цилиндра

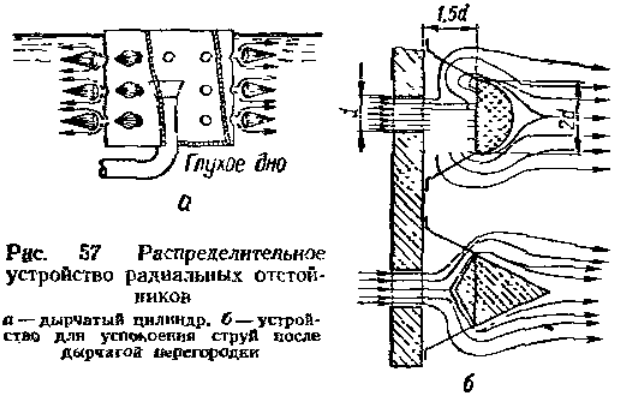


Рис. 57. Распределительное устройство радиальных отстойников

а — дырчатый цилиндр, *б* — устройство для успокоения струй после дырчатой перегородки

В целях использования оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью для сгустителей, изготовляющихся в соответствии с ГОСТ 7383 и ГОСТ 7384, рекомендуется расчетный диаметр радиального отстойника и другие его размеры согласовывать с данными табл. 33.

Для интенсификации процесса выделения грубодисперсных примесей воды вместо гравитационных сил могут быть использованы центробежные. В практике очистки воды это осуществляется с помощью непрерывно действующих центрифуг или гидроциклонов, требующих, однако, некоторых энергетических затрат.

Скорость свободного оседания сферических частиц в поле центробежных сил при ламинарном режиме ($Re < 1{,}6$) определяется по уравнению

$$v = \frac{d^2 \Delta j}{18\mu} = \frac{d^2 \Delta \omega^2 x}{18\mu}, \qquad (84)$$

где d — диаметр частицы;

Δ — разность плотностей твердой и жидкой фаз,

μ — вязкость жидкой фазы;

ω — угловая скорость вращения;

x — расстояние от частицы до оси вращения.

Таблица 33. *Размеры и основная характеристика сгустителей*

Обозначение сгустителя	Внутренние размеры в *м*		Продолжительность 1 оборота в *мин*	Мощность электродвигателя в *квт*	Вес оборудования сгустителя без отстойной части в *т*
	Диаметр	Глубина в центре			
С центральным приводом					
Ц-5	5	2,5	2,8	1	2,5
Ц-6	6	2,5	3,9	1,7	3,2
Ц-7,5	7,5	3	3,9	1,7	5,0
Ц-9	9	3	4,7	2,8	6,5
Ц 12	12	3	6,2	2,8	8,5
Ц 15	15	3	8	2,8	9,5
С периферическим приводом					
П 15	15	3	8	2,8	12
П 18	18	3,6	10	2,8	14
П 24	24	3,6	12	4,5	21
П-30	30	3,6	16	4,5	25
П-50	50	4,5	26	7	40
П 75	75	6	39	10	60
П 100	100	7	52	14	80

Примечание Дно в сгустителях имеет уклон 8°, а в П 50 П 75, П 100 уклон в центре 8° и на периферии — 5° Сгустители могут оборудоваться устройствами для изменения скорости вращения ферм.

В приведенной формуле действующее на частицу в поле земного тяготения ускорение g заменяется значительно большим центробежным ускорением $f=\omega^2 x$ увеличивающимся по мере удаления частиц от оси вращения

Для предварительного осветления воды в периоды сезонных ее загрязнений в источнике водоснабжения в зарубежной практике получили распространение *гидроциклоны* Они обладают рядом преимуществ по сравнению с отстойниками Основные из них таковы при одинаковом эффекте осветления воды удельная производительность гидроциклонов (производительность, отнесенная к 1 $м^2$ площади) во много раз превышает удельную производительность отстойников, удаление шлама из гидроциклона не требует специального оборудования, эффект осветления воды в гидроциклонах повышается с увеличением нагрузки по воде», что позволяет обходиться без резерва на случай ремонта, гидроциклонные установки могут проектироваться с подъемом воды в одну ступень.

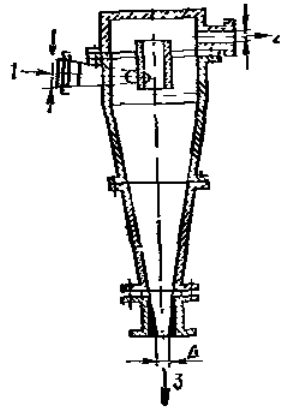


Рис 58 Схема гидроциклона.
1 — питание, *2* — слив; *3* — выпуск сгущенной суспензии

Гидроциклоны изготовляют напорные и безнапорные (открытые); в системах водоснабжения применяют в основном напорные гидроциклоны, схема устройства их дана на рис 58 Они просты по кон-

струкции, занимают мало места, дешевы и удобны в эксплуатации; применяют их в тех случаях, да размер частиц находится в пределах 15—100 *мк*, для увел ния производительности их часто объединяют в батареи — мультициклоны.

Твер фаза в гидроциклонах выделяется в результате действия цен.. обежной силы, возникающей при тангенциальном вводе осветляемой воды Крупность граничного зерна δ в *мк* для циклонов с *углом конусности 20° определяется по формуле [86—88]*

$$\delta \approx 0{,}9 \frac{d}{d_{\text{п}} \sqrt[4]{h}} \sqrt{\frac{D p_{\text{ш}}}{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}}}, \qquad (85)$$

где $d_{\text{сл}}$ — диаметр сливного патрубка в *см*,

D — диаметр гидроциклона в *см*,

p — содержание твердой фазы в поступающей жидкости в проц.;

μ — вязкость жидкости в *Мн·сек/м²* (*спз*);

$d_{\text{п}}$ — диаметр песковой насадки;

h — избыточ ние на входе в *ат*,

$\rho_{\text{т}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ — плотност и жидкой фаз в *г/см³*.

Производительность q в *л/мин* одного гидроциклона с углом конусности 20° рассчитывают по формуле

$$q = 5 d_{\text{вх}} d_{\text{сл}} \sqrt{gh}, \qquad (86)$$

где $d_{\text{вх}}$ — диаметр входно патрубка.

При большой произво ности и значительной крупности частиц используют гид циклоны большого диаметра, а для получения слива с высо испер сными взвесями применяют циклоны малого диаметра, об диняя их в батареи Слив с крупными частицами получают при низком давлении, для обеспечения слива с высокодисперсными частицами необходимо повышать давление на входе.

Гидроциклоны с углом конусности 20°, диаметром 75, 150, 250, 350, 500, 700 *мм* и производительностью от 3,5 до 400 *м³/ч* изготовляет Уфимский завод горного оборудования. Характеристика их приведена в табл 64.

§ 45. Барабанные сетки и микрофильтры [89, 90]

Для грубого осветления (процеживания) воды применяют барабанные сетки; они могут быть установлены в сетчатых секциях водозаборных колодцев насосных станций первого подъема взамен съемных или вращающихся сеток. Конструктивно они сходны с описанными ниже микрофильтрами

Для предварительного осветления воды, главным образом для задержания из воды фито- и зоопланктона водохранилищ, рекомендуе прим ть микрофильтры Они могут зад живать от 65 до 9 сине ных и от 45 до 75% диатомовых оросле, а также до 25% взвешенных веществ Их целесообразно применять, если содержание в воде фитопланктона превышает 1000 клеток в 1 *см³*.

Схема устройства микрофильтра конструкции АКХ приведена на рис 59 Вращающийся барабан со съемными фильтрующими элементами, на которые натянуты микросетки с размерами ячеек 40 *мк*, на $^3/_5$ своего диаметра погружен в железобетонную камеру для сбора воды, прошедшей микрофильтрацию Исходная вода поступает через торцовую стенку внутрь барабана Осевшие на сетке

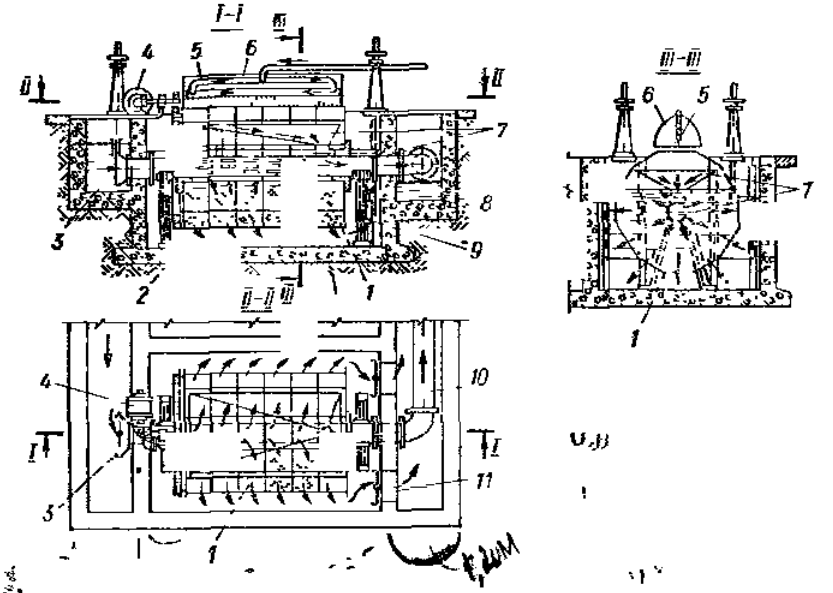


Рис 59 Схема устройства микрофильтра

1— барабан со съемными фильтрующими элементами, *2* — камера микрофильтра, *3* — канал исходной воды *4* — привод *5* — промывное устройство, *6* — ограждение из прозрачных материалов, *7* — ось барабана с желобом для сбора промывной воды, *8* — сборный канал *9* — опора, *10* — трубопровод, отводящий промывную воду *11* — водосливное окно с шибером

загрязнения смываются в верхнем положении барабана в приемную воронку и через полый вал отводятся в сток.

С ость фильтрации на мик ильтрах принимается из расчета 10— *л/сек* на 1 *м*^{2} полезной и микросетки, ненной в воду. Потери напора при пр ии воды на м етке составляют около 0,2 *м*, а ос е на установке — не превышают 0,5 *м*. Линейная скорость я барабана не должна ь ьше 0,1—0,3 *м/сек*. Н ая промывка сетки ос ется фильтрованной водой или водой после микрофильтров, подаваемой к промывному устройству с м не менее 1,5 *атм* Расход воды на промывку микросеток со т 2% количества воды, поступающей на станцию, из кот их 0,5% сбрасывается в водосток. Следует предусматривать периодическую интенсивную промывку фильтрующих элементов с максимальным расходом воды в размере 5%.

Отечественная промышленность изготовляет микросита из никеля, монель-металла, латуни и фосфористой бронзы (табл. 34); свобод[illegible] сечение ячеек микросетки находится в пределах 28—36% ее о[illegible] ей площади

Таблица 34 *Техническая характеристика микросеток, изготовляемых в соответствии с ГОСТ 6613—53*

Номер сетки	Номинальный размер стороны ячейки сетки в *мк*	Число ячеек на 1 *см²* сетки	Диаметр проволоки сетки в *мк*	Число ниток на 1 *см* сетки
0,1	100	3460	70	59
0,09	90	3900	70	63
0,085	85	4450	65	67
0,08	80	5476	65	74
0,075	75	6100	65	71
71	71	6400	55	80
63	63	8270	45	91
6	60	10000	40	100
56	56	10085	40	104
5	50	13900	35	118
45	45	15000	35	125
4	40	20450	30	143

Барабанные сетки и микрофильтры, разработанные АКХ РСФСР, изготовляются шести типоразмеров воронежским заводом «Водомашобо[illegible]дование» МКХ РСФСР Характеристики их приведены в табл

При проектировании системы предварительного осветления воды необходимо [illegible]дусматривать установку резервных мик[illegible]фильтров в зависимост[illegible]от их расчетного числа: если расчетное чи[illegible]о микрофильтров составляет до 5, от 6 до 10 и свыше то число резервных микрофильтров соответственно составит 1, 1—2; 2.

Микрофильтры работают автоматически; в установке все операции осуществляются непрерывно.

§ 46. Крупнозернистые и предварительные фильтры [21]

Крупнозернистые (грубозернистые) фильтры используют при частичном осветлении воды, предназначенной для технических целей, если мутность воды в источнике во[illegible]набжения не превышает 150 *мг/л*. Они задерживают до 50—60% содержащихся в воде взвешенных веществ Основное их наз[illegible]ение заключается в задержании взвеси крупнее 0,05 *мм*, спосо[illegible]й осаждаться в зонах охлаждающих систем с пониженными скоростями движения воды.

Крупнозернис[illegible]тры проектируют напорными или открытыми. Первые [illegible]ают на предельную потерю напора в дренаже и фильтрующей загрузке до 15 *м вод. ст* Во вторых — расчетная скорость фи[illegible]трования обеспечивается слоем воды не менее 1,5 *м* над поверхнос[illegible]о песка.

Как загрузку для фильтров используют песок, дробленый антрацит или другие зернистые материалы с соответствующей механи-

ческой прочностью и химической стойкостью. Характеристики фильтрующих слоев песка и дробленого антрацита, расчетные скорости фильтрования и необходимая интенсивность промывки приведены в табл. 35.

Таблица 35. *Фильтрующий слой, скорость фильтрации и интенсивность промывки круп[ных] фильтров*

Материал загрузки	Крупность загрузки в *мм*	Коэффициент неоднородности (не более)	Высота слоя загрузки в *м*	Скорость фильтрования в *м/ч*	Интенсивность промывки в *л/м² сек*	
					водной	воздушной
Кварцевый песок	0,8—1,8	1,8	1,5—2	10—12	6—8	15—20
	1,5—2,5	2	2,5—3	13—15	6—8	18—25
Дробленый антрацит	0,8—1,8	1,8	1,5—2	10—12	6—8	13—15
	1,5—2,5	2	2,5—3	13—15	6—8	16—20

Расчет желобов и сборных каналов в открытых фильтрах производят так же, как и для скорых фильтров (см. стр. 153). Промывку крупнозернистых фильтров проектируют водовоздушной, распределительные системы для воды и воздуха делают раздельными или объединенными в соответствии с рекомендациями, изложенными на стр. 148. По этим указаниям проектируют также устройства для подачи и отвода промывной воды (см. стр. 152). Режим промывки следующий: взрыхление фильтрующей загрузки водой с интенсивностью 6—8 *л/м² сек* — 1 *мин*, водовоздушная промывка с интенсивностью 3—4 *л/м² · сек* воды и 15—25 *л/м² сек* воздуха — 5 *мин*, отмывка водой и гидравлическая сортировка фильтрующей загрузки с интенсивностью подачи воды 6—8 *л/м² · сек* — 2 *мин*.

Площадь крупнозернистых фильтров F в $м^2$ рассчитывают по формуле

$$F = \frac{Q}{Tv_р - 3{,}6n(w_1t_1 + w_2t_2 + w_3t_3) - nt_4v_р}, \qquad (87)$$

где Q — полезная производительность фильтров в *м³/сутки*;

T — время работы станции в течение суток в *ч*;

$v_р$ — расчетная скорость фильтрования в *м/ч*;

n — количество промывок всех фильтров в сутки;

w_1t_1 — интенсивность в *л/сек · м²* и продолжительность в *ч* взрыхления фильтрующего слоя;

w_2t_2 — интенсивность подачи воды в *л/сек · м²* и продолжительность в *ч* водовоздушной промывки;

w_3t_3 — интенсивность в *л/сек · м²* и продолжительность в *ч* отмывки;

t_4 — время простоя фильтра в связи с промывкой в *ч*.

Предварительные фильтры (префильтры) используют для предварительного осветления воды с мутностью свыше 50 *мг/л* перед подачей ее на медленные фильтры. При их проектировании расчетную скорость фильтрования воды в зависимости от ее мутности

принимают в пределах 3—5 *м/ч*. Если мутность воды не превышает 100 *мг/л*, то скорость фильтрования принимают равной 5 *м/ч*, при большей мутности ее уменьшают.

Крупность зерен и высота слоев загрузки префильтров в *мм* следующая:

Крупность зерен	1—2	2—4	4—8	8—16	16—32	
Толщина слоя	700	100	100	100	150	Всего 1150

Число фильтров должно обеспечивать возможность выключения на ремонт одного фильтра, если общее число фильтров не превышает 10, и двух фильтров при большем их числе, скорость фильтрования на остающихся в работе фильтрах не должна быть больше значений, указанных в табл. 35.

Слой воды над поверхностью фильтрующего слоя в префильтрах принимают равным 1,5 *м*. Промывку загрузки в них производят потоком фильтрованной воды, направленным снизу вверх. Распределительная система промывной воды должна быть с большим сопротивлением. Интенсивность промывки следует принимать в пределах 12—14 *л/сек · м²* в течение 7—6 *мин*. Для отвода промывной воды в префильтрах применяют навесные желоба, верхнюю кромку которых располагают на 40—50 *см* выше фильтрующего слоя.

Количество префильтров на станции безреагентной обработки воды должно быть не менее двух. Префильтры в районах с мягким климатом, а также в случаях, когда они эксплуатируются только в период паводков или «цветения» воды в источнике, можно располагать на открытом воздухе. При этом в здании размещают задвижки, регуляторы скорости фильтрования и пульты управления; необходимо предусматривать также полный сброс воды из префильтров и трубопроводов в зимний период.

§ 47. Медленные фильтры

Медленные фильтры применяются для безреагентного осветления и частичного обесцвечивания воды поверхностных источников, если цветность ее не превышает 50 *град*. По способу регенерации фильтрующей загрузки различают следующие конструкции: с удалением загрязненного слоя и отмывкой ее вне фильтра, с отмывкой загрязненного слоя в фильтре при механическом рыхлении и смыве загрязнений. В зависимости от количества взвешенных веществ в воде источника водопользования рекомендуют три схемы сооружений станции безреагентной очистки. При количестве взвешенных веществ до 50 *мг/л* рекомендуются медленные фильтры с удалением песка при регенерации, до 700 *мг/л* — медленные фильтры с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений без удаления песка при регенерации; до 1000 *мг/л* — префильтры, медленные фильтры с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений без удаления песка при регенерации.

При медленном фильтровании воды на поверхности песка в фильтре образуется пленка из взвешенных в воде частиц, обеспе-

чивающая высокую степень осветления воды. Одновременно обеззараживается вода за счет задержания бактерий образующейся фильтр пленкой. Наличие в теле фильтра больш количества с ..ческих веществ способствует развитию микр..рганизмов, уничтожающих вносимые водой бактерии. При нормальной работе фильтров (после образования фильтр й пленки) дости гается полное осветление воды, понижение цветности на 15—29% снижение количества бактерий на 95—99%, в том числе и кишеч ной палочки, уменьшение окисляемости примерно на 20—40% устр ... аммиака, азотной кислоты, кислорода Метод медленного ... трования обеспе ... г высокую с ень очистки воды, не требует применения реагентов и обслуживания высококвалифи цир ... ным п ... м Стоимости ... тки воды ... мето, медленн ... филь ... в 3—5 раз м ... по срав ... ю с р ... ентным методом фильтрования на скорых фильтрах

К числу не... татьков медл ... ых фильт ... относится значитель ная строитель ... стоимость, ...пригоднос... для обработки высокоцветных вод, трудоемкость очистки фильтрующей поверхности и большая площадь для их раз ... щения.

Одн...ко, как пок...зали расчеты, для водопроводов малой производите ... ости затр ... на строительство и об ...дование очистных сооружений со скорыми и м ... енными фильтрами оказываются практич... и одинаковыми [91 Учитывая эксплуатационные качества медл ... ых фи ... в, их р ...мендуют для к ... колхозов, совхозс ... рай ... ых центров, предприятий по переработке сель ... яйс ... дукции и других в сл ... е н ... ания исто ... ...з с... ... ...оды не выше 50 *град*, с ... п ... ельность сооружений не превышает 3000 *м³/сутки*, и любой производительности при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Медленные фильтры представляют собой железобетонные или кирпичные резервуары прямоугольной или круглой в плане формы, открытые или закрытые, заполненные фильтрующим материалом — кварцевым песком, уложенным на под ... рживающие слои с соответствующей дренажной системой Толщина слоя кварцевого песка с крупностью зерен 0,3—1 *мм* принимается ... зной: при регенерации с удалением слоя — 1200 *мм*, при реге ... ации с промывкой слоя в фильтре — 400 *мм* Высота поддерживающих слоев и крупность загр ... и в них приведе ... в табл. 36 Высота слоя воды над фильтрующ ... м материалом до ... на быть равна 1,5 *м*.

При проектировании медленных фильтров расчетную скорость фильтр ... ния принимают в соответствии с данными табл. 37.

Опре ... ение площади медленных фильтров F в $м^2$ производится по формуле

$$F = \frac{Q}{v \cdot 24}, \qquad (88)$$

где Q — производительность станции в $м^3/сутки$;

v — расчетная скорость фильтрования в $м/ч$

Число фильтров на станции должно быть не меньше двух.

Медленные фильтры оборудуют дренажем из перфорированных труб, кирпича или бетонных плиток, уложенных с прозорами (рис 60), рекомендуется также пористый бетон, керамические плиты и др. В фильтрах с площадью до 10—15 $м^2$ дренаж можно не устраивать, загрузку укладывают непосредственно на бетонное дно, в котором делают лоток для отвода фильтрата; уклон дна в направлении лотка должен быть не менее 0,1.

Таблица 36. *Характеристика поддерживающих слоев медленных фильтров*

Загрузочный материал	Крупность зерен в *мм*	Высота слоя в *мм*
Крупный песок	1—2	50
Гравий или щебень	2—4	100
То же	4—8	100
„	8—16	100
„	16—32	150

Таблица 37 *Скорость фильтрования на медленных фильтрах*

Содержание взвешенных веществ в исходной воде в *мг/л*	Скорость фильтрования в *м/ч*	
	при работе всех фильтров	при выключении одного на чистку или ремонт
До 25	0,2	До 0,3
Свыше 25	0,1	„ 0,2

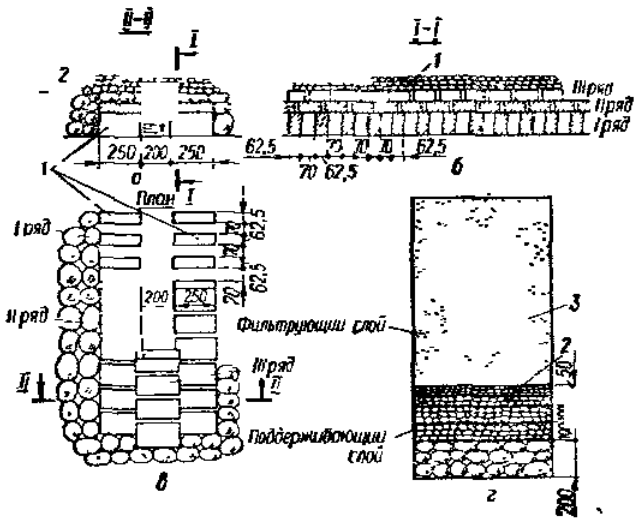


Рис. 60 Схема загрузки медленных фильтров

а, б, в — детали дренажного канала *г* — деталь загрузки фильтров, *1* — кирпич, *2* — гравий; *3* — песок

Для обеспечения смены и перемывки загрузки в медленных фильтрах с перекрытиями необходимо предусматривать соответствующее расстояние от поверхности загрузки до перекрытия, обычно равное не менее 2 *м*.

Конструктивное оформление медленных фильтров и их расположение в общей схеме очистных сооружений зависят от местных условий и состава сооружений При их конструировании необходи-

мо предусматривать трубопроводы, обеспечивающие подачу воды снизу вверх для наполнения фильтра перед пуском чистой водой; сброс первого фильтрата в сток; подачу осветляемой воды на фильтры сверху на уровне песка во избежание его размыва. В целях устранения вакуума в фильтрующем слое, трубы, отводящие фильтрованную воду в резервуар чистой воды, следует выводить в нем на отметку, находящуюся не ниже уровня песка в фильтрах. Из дренажа фильтра должна быть выведена вентиляционная труба с отметкой верха ее выше уровня воды в фильтре примерно на 1,5 *м*.

Работа фильтров должна быть непрерывной, по возможности без остановок в течение суток; выключать и включать их следует постепенно, они должны быть оборудованы регулятором скорости фильтрации и измерителями потери напора в слое загрузки. Управление медленными фильтрами необходимо сосредоточить в одном месте, желательно в насосной станции.

Грязеемкость медленных фильтров зависит от свойств взвеси, поступающей с водой. Обычно один раз за 10—30 суток после исчерпания грязеемкости их останавливают для очистки. Во время очистки удаляют верхний загрязненный слой песка толщиной 15—20 *мм*. При этом воду в фильтре опускают на 200—250 *мм* ниже поверхности песка, после чего удаляемый слой снимают специальными машинами [10] или вручную лопатами. После 10—15 чисток рабочий слой песка уменьшается до 800 *мм* и фильтры догружают промытым песком до начальной толщины фильтрующего слоя.

Удаляют грязный слой песка из медленного фильтра, а также подают чистый песок в фильтр при догрузке фильтрующего слоя до проектной отметки специальным гидротранспортером с эжектором, схема которого показана на рис. 61. Во время чистки его устанавливают в фильтре на поверхности песка, удаляемый грязный песок выпускают в бункер и из него водой транспортируют на пескопромывочной сепаратор — пескомойку (рис. 62). Промытый песок для загрузки фильтра подают по резиновым шлангам вместе с водой через эжектор, укладывая его ровным слоем на фильтрующей поверхности.

В тех случаях, когда загрузка отмывается непосредственно в фильтре с механическим рыхлением и гидроудалением загрязнений, предусматривают ширину секций фильтров не более 6 *м* и длину до 60 *м*. Каждая из них оборудуется трубопроводами с поплавковым клапаном для подвода воды, для отвода фильтрата с регулятором скорости фильтрации, для отвода промывных вод и для полного опорожнения секции; предусматривается также измеритель потери напора в фильтрующей загрузке.

Количество воды, расходуемой на смыв загрязнений в одной секции фильтра W_c в $м^3$, определяют по формуле

$$W_c = q_0 bl, \qquad (89)$$

где q_0 — удельный расход на смыв загрязнений с 1 $м^2$ фильтрующей поверхности, принимается равным 0,09—0,18 $м^3/м^2$,

b — ширина секции в *м*;

l — длина секции.

Время, затрачиваемое на смыв загрязнений с 1 $м^2$ фильтра, принимают равным 10 *сек.*

Вода на регенерацию фильтрующей загрузки подается специальным насосом или из бака.

Небольшая станция с медленными фильтрами разработана в Горьковском инженерно-строительном институте [35] для малых

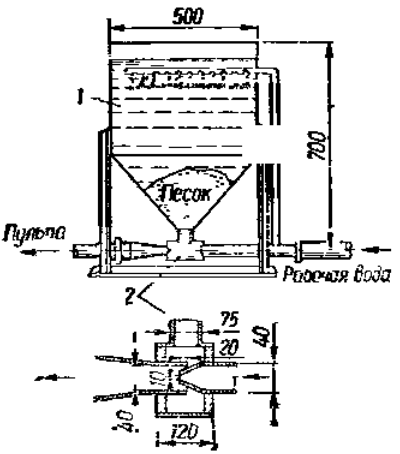


Рис 61 Схема гидротранспортера для песка:
1 — бункер; *2* — эжектор.

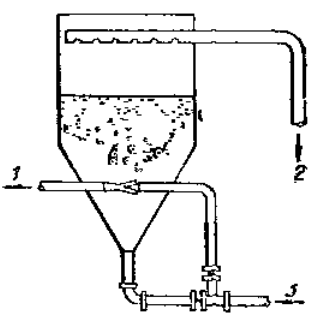


Рис. 62. Схема пескомойки:
1 — подача отсортированного и промытого песка на фильтр *2* — отвод воды с мелкими фракциями и загрязнениями; *3* — вода от насосов.

водопроводов (РТС, колхозов) В центре ее расположено насосное отделение с примыкающими к нему с обеих сторон резервуарами чистой воды Каждый из них соединен с двумя медленными фильтрами площадью 15 $м^2$ На случай повышения мутности исходной воды в период паводка вне здания расположены два предварительных фильтра

Типовой блок фильтровальной станции с горизонтальными отстойниками и медленными фильтрами, в которых регенерация загрузки осуществляется механическим рыхлением слоя и гидроудалением загрязнений, производительностью [illegible] $м^3$/*сутки* приведен на рис 63 Они предназначены для осветления воды, содержащей до 500 *мг/л* взвешенных веществ и имеющей цветность до 50 *град*

В конструкции медленного фильтра О. А. Айропетова [92] загрязненный песок удаляется потоком воды, направленным вдоль фильтрующего слоя (рис 64). Такой фильтр состоит из двух отделений, расположенных параллельно каналу (арыку) Водоподпорная плотина в канале направляет по лотку часть воды на отделения фильтра для осветления, создавая при том перепад уровня воды в канале порядка 20—25 *см* Отфильтрованная через слой кварцевого песка вода отводится через дренаж по трубопроводу в

резервуар чистой воды При работе фильтров входные шандоры открыты, а выходные — закрыты Для смыва загрязнений с песка закрывают задвижку на трубопроводе фильтрованной воды, а выходные шандоры приподнимают на 2—3 *см* над фильтрующей поверхностью, входные, наоборот, прикрывают так, чтобы под их нижней кромкой остался щель такой же ширины — 2—3 *см*. При этом вдоль поверхности песка в фильтре возникает поток воды из верхнего бьефа канала в нижний со скоростью порядка 0,25—0,3 *м/сек*, который смывает загрязнения с фильтрующего слоя.

§ 48. Примеры расчетов сооружений по безреагентной очистке воды

Пример 1 Рассчитать радиальный *отстойник производительностью* 2,8 $м^3/сек = 10080\ м^3/ч$ Расчетная температура воды 10°С, среднемесячное содержание взвеси в исходной воде 2000 *мг/л* Площадь радиального отстойника определяем по формуле (83)

$$F = 0{,}21\left(\frac{10\,080}{0{,}5}\right)^{1{,}07} + 79 \sim 4400\ м^2$$

Величина скорости выпадения взвеси, задерживаемой в отстойнике, принимается в пределах 0,4—1,5 *мм/сек* при отсутствии результатов технологического анализа и эксплуатационных данных станций, работающих на воде аналогичного качества. В нашем примере $u_0 = 0{,}5$ *мм/сек*.

Согласно указаниям, данным на стр 177, водораспределительное устройство в виде полого дырчатого цилиндра радиусом 4 *м* располагаем на глубине отстойника, равной его глубине у периферийной стенке — 2,5 *м*.

Площадь вихревой зоны (радиус ее принимается на 1 *м* больше радиуса распределительного цилиндра, т. е. равным 4+1=5 *м*) будет равна

$$f = \frac{3{,}14 \cdot 10^2}{4} = 79\ м^2.$$

Внутренний радиус отстойника

$$R = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \frac{4400}{3{,}14} = 37{,}4 м$$

Диаметр отстойника $D = 74{,}8$ *м*.

Согласно табл 33 принимаем радиальный отстойник типа П-75 диаметром 75 *м*. Глубину отстойника в центре принимаем равной 6 *м*, у периферии — 2,5 *м* Боковая поверхность водораспределительного цилиндра (радиус которого принимают в примере 4 *м*) равна

$$F_ц = 3{,}14 \cdot 8 \cdot 2{,}5 = 62{,}8\ м^2.$$

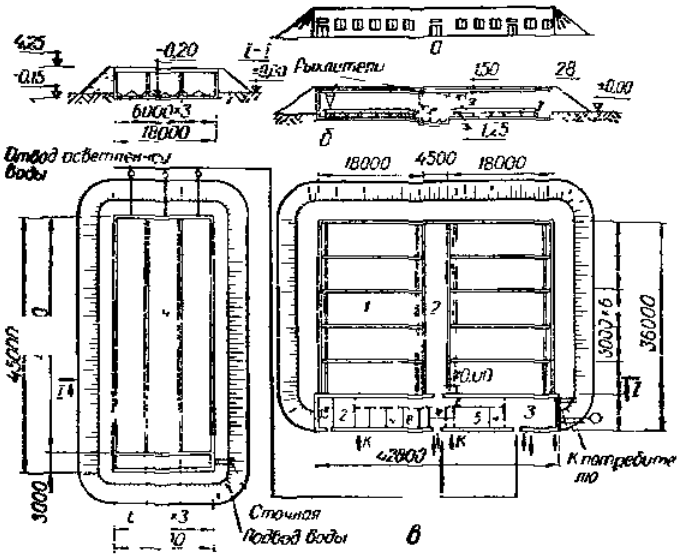


Рис. 63 Станция обработки воды с медленными фильтрами
а — фасад, *б* — разрез *в* — генеральный план сооружений. *1* — медленные фильтры, *2* — камера переключения, *3* — насосная станция второго подъема *4* — мастерская, *5* — лаборатория, *6* — уборная *7* — вентиляционная камера *8* — комната персонала, *9* — комната начальника *10* — средоварочная и мойка, *11* — бактериологическая лаборатория, *12* — химическая лаборатория, *13* — помещение отопительных котлов; *14* — горизонтальные отстойники.

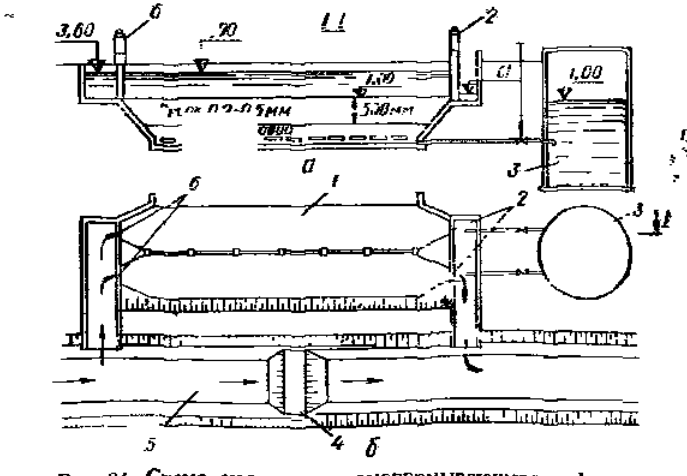


Рис 64 Схема медленного самопромывающегося фильтра конструкции О. М. Айропетова *а* — разрез, *б* — план
1 — фильтр; *2, 6* — шандоры *3* — резервуар чистой воды, *4* — водоподъемная плотина; *5* — канал

Расчетная площадь отверстий на боковой поверхности цилиндра

$$\Sigma f_0 = \frac{q}{v_0} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \ м^2,$$

$v_0 = 1$ *м/сек* (скорость движения воды в отверстиях).

Необходимое количество отверстий $d_0 = 50$ *мм* и площадью $f_0 = 0,00196$ $м^2$ равно

$$n_0 = \Sigma f_0 : f_0 = 2,8 : 0,00196 = 1430 \text{ отв.}$$

Длина окружности цилиндра определяется из выражения $l_ц = 3,14 \cdot 8 = 25,12$ *м*, если разметить отверстия по вертикали в 12 рядов (примерно через $\frac{}{12} \cong 208$ *мм*), то в каждом ряду необходимо разместить $1430 : 12 \cong 119$ отверстий.

Шаг отверстий по горизонтальному ряду будет равен $25,12 \ м : 119 = 25120 : 119 = 210$ *мм*

Как указано выше, осветленную воду отбирают из радиального отстойника периферийным желобом

Площадь затопленных отверстий в периферийном желобе будет равна (при скорости движения воды в отверстиях 0,8 *м/сек*)

$$\Sigma f_{з.о} = 2,8 : 0,8 = 3,5 \ м^2$$

При $d_0 = 50$ *мм* и площади $f_{з.о} = 0,00196$ необходимое количество отверстий равно

$$n_{з.о} = \Sigma f_{з.о} : f_{з.о} = 3,5 : 0,00196 \cong 178 \text{ шт}$$

Определим длину кольцевого желоба

$$l_ж = \pi \cdot D = 3.14 \cdot 78 \cong 236 \ м$$

тогда шаг отверстий равен

$$l = l_ш : n_{з.о} = 236\,000 : 1780 \cong 132 \ мм.$$

Пример 2 Рассчитать напорные фильтры для частичного осветления воды, используемой для технических целей. Количество взвешенных веществ в исходной воде составляет 140 *мг/л*.

Производительность фильтровальной установки $Q = 6700$ $м^3/сутки$. Если принять, что станция работает круглосуточно, расчетная скорость фильтрования $v = 10$ *м/ч*, количество промывок фильтра в течение суток $n = 2$, интенсивность взрыхления фильтрующего слоя $w_1 = 8$ *л/сек·м²* в течение времени $t_1 = 10 \text{ мин} = 0,017$ *ч*, продолжительность водовоздушной промывки $t_2 = 5$ *мин* = 0, при интенсивности ее $w_2 = 4$ *л/сек·м²*, интенсивность отмывки фильтра $w_3 = 8$ *л/сек м²* при времени $t_3 = 2$ *мин* = 0,034 *ч*, время простоя фильтра в связи с промывкой $t_4 = 0,33$ *ч*, то по формуле (87) можно определить площадь крупнозернистых фильтров

$$F = \frac{6700}{24 \cdot 10 - 3,6 \cdot 2(8 \ \ 0,017 + 4 \ \ 0,083 + 8 \ \ 0,034) - 2 \cdot 0,33 \ \ 10} =$$

$$= 29,4 \ м^2.$$

Количество напорных фильтров, если площадь одного фильтра $f = 5,3$ $м^2$ (см. стр. 381), определяем из отношения

$$N = F : f = 29,4 : 5,3 \cong 6.$$

Принимаем семь фильтров диаметром 2600 *мм* (шесть рабочих и один резервный).

Производим проверку дренажа фильтра с колпачками ВТИ-5 при максимальной интенсивности промывки 8 *л/сек·м²*.

Расход воды на промывку одного фильтра

$$q_{пр} = 5{,}3 \cdot 8 = 42{,}4 \text{ л/сек} = 0{,}0424 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Диаметр главного коллектора распределительной системы принимаем равным 225 *мм*, при этом скорость движения воды в нем будет равна 1,07 *м/сек*, что находится в пределах, рекомендуемых СНиП. Суммарную площадь щелей в дренажных колпачках ВТИ-5 определяем, приняв эту площадь в 0,8% от площади фильтра

$$f = \frac{5{,}3}{100} \cdot 0{,}8 = 0{,}0424 \text{ м}^2.$$

Каждый дренажный колпачок ВТИ-5 имеет площадь щелей $f_{щ}$=0,000192 *м²*. Общее количество колпачков равно

$$n = \frac{0{,}0424}{0{,}000192} \cong 220 \text{ шт.}$$

При круглом сечении фильтра в плане и при его диаметре 2,6 *м* ответвления (при количестве ответвлений равном 10) будут разной длины 0,41, 0,77, 0,98; 1,09 и 1,14 *м*

Длина ответвлений распределительной системы фильтра определяется

$$L = 4(0{,}41 + 0{,}77 + 0{,}98 + 1{,}09 + 1{,}14) \cong 17{,}6 \text{ м}.$$

Средний шаг между колпачками равен

$$e = L : n = 17{,}6 : 220 = 0{,}08 \text{ м} = 80 \text{ мм}.$$

Расстояние между осями ответвлений равно 2,6 : 10=0,26 *м* = =26 *см*.

На длинных ответвлениях устанавливаем по 14 колпачков, на третьем от центра фильтра ответвлении — 12 колпачков, на четвертом от центра фильтра — по 10 колпачков и на самом коротком ответвлении — по 5 колпачков.

Всего размещено колпачков $n = 4(14 + 14 + 12 + 10 + 5) = 220$ шт., т. е. столько, сколько требуется по расчету

Расход промывной воды на один колпачок определится

$$q_{колп} = 0{,}0424 : 220 = 0{,}0002 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Расход промывной воды на длинное ответвление (по центру фильтра) с числом колпачков 14 равен

$$q_{д.отр} = 14 \cdot 0{,}0002 = 0{,}0028 \text{ м}^3/\text{сек} = 2{,}8 \text{ л/сек}.$$

Принимаем диаметр ответвлений равным 50 *мм*, при скорости движения воды (по таблицам гидравлического расчета) равной 1,32 *м/сек*, что находится в границах рекомендуемой скорости.

Скорость воды в щелях колпачка

$$v_{щ} = 0{,}0002 : 0{,}000192 = 1{,}05 \text{ м/сек}.$$

Потерю напора в щелях колпачка определяем по формуле (69)

$$h = 5\frac{1{,}05^2}{2 \cdot 9{,}81} \cong 0{,}28 \text{ м}.$$

На наиболее длинных ответвлениях установлено по 14 колпачков, следовательно

$$\Sigma h = 14 \cdot 0{,}28 \cong 3{,}9 \text{ м}.$$

ГЛАВА X.
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ

§ 49. Классификация и характеристика методов обеззараживания воды

Обеззараживание является непременным условием при подготовке воды для хозяйственно-бытовых целей [1, 29, 93] При этом процессе в обрабатываемой воде уничтожаются содержащиеся в ней болезнетворные и другие бактерии, а также вирусы Следует отметить, что основная масса (до 98%) гетерофазных биологических загрязнений природных вод поверхностных источников, в том числе и бактерий, удаляется в процессе очистки их коагулянтами.

Существующие в практике водоподготовки методы обеззараживания воды делятся на реагентные и безреагентные. К реагентным методам относятся обработка воды окислителями — хлором, озоном, перманганатом калия; введение в нее ионов меди, серебра и др К числу безреагентных методов принадлежит облучение воды ультрафиолетовыми лучами, ультразвуковыми волнами и термическая обработка.

Выбор метода обеззараживания в каждом конкретном случае определяется количеством и свойствами обрабатываемой воды, а также требованиями, предъявляемыми к ней. Его обосновывают надежностью в данных условиях, технико-экономическими расчетами, возможностью автоматизации процесса и механизации трудоемких работ, допустимостью хранения хлора в условиях проектируемой станции.

Наиболее распространенным приемом обеззараживания воды является хлорирование, т. е обработка ее жидким хлором или веществами, содержащими активный хлор — хлорной известью, гипохлоритом кальция, двуокисью хлора, растворами гипохлорита натрия, получаемыми насыщением раствора щелочи хлором или электролизом раствора поваренной соли

При растворении хлора в воде протекает реакция гидролиза

$$Cl + H_2O \rightleftarrows HClO + H^+ + Cl^-.$$

В буферной бикарбонатной среде природных вод с pH, близким к 7, практически весь хлор находится в виде слабодиссоциированной кислоты (HClO) или иона гипохлорита (ClO^-), что наглядно иллюстрируется графиком, приведенным на рис 65 Аналогичные соединения образуются и при растворении в воде других веществ,

содержащих активный хлор Сущность обеззараживающего действия их заключается в окислении веществ, входящих в состав протоплазмы клеток, что приводит к гибели бактерий. Помимо санитарно-профилактического значения хлорирование воды играет большую роль, как один из методов очистки воды от коллоидных примесей, а также как подсобный способ улучшения процессов

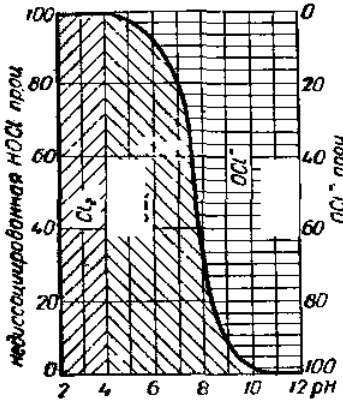


Рис. 65. График зависимости концентрации Cl_2, HOCl и OCl^- в воде от величины pH

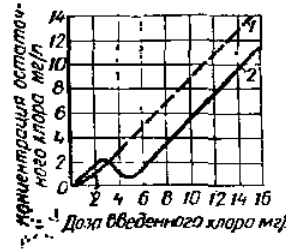


Рис. 66. Зависимость концентрации остаточного хлора от его дозы:

1 — при отсутствии в воде аммиака, *2* — при содержании в воде аммиака в количестве 0,5 *мг/л*.

коагуляции, отстаивания и фильтрования. Обычно на разрушение *бактериальных клеток расходуется лишь незначительная* часть вводимого в воду хлора. Большая часть хлора, величина которой определяется хлоропоглощаемостью воды, идет на реакции с разнообразными органическими и минеральными примесями, содержащимися в воде. Поэтому величина хлоропоглощаемости воды зависит от начальной дозы хлора, времени контакта и других факторов.

При определении дозы хлора для обеззараживания воды необходимо исходить из хлоропотребности воды, включающей хлоропоглощаемость ее и некоторый избыток хлора, обеспечивающий бактерицидный эффект.

Определение необходимой дозы хлора в воде в связи со сложной зависимостью хлоропоглощаемости от ряда факторов производят после получения в данных практических условиях графика зависимости количества остаточного хлора от количества введенного. На рис. 66 приведены две более характерные кривые; одна из них отражает зависимость остаточного хлора от дозы введенного хлора при отсутствии в обрабатываемой воде соединений аммиака, другая — при их наличии.

Исходя из различных целей хлорирования, существующие методы обработки воды хлором или солями, содержащими активный

хлор, можно объединить в две основные группы постхлорирования и прехлорирования воды

Постхло[illegible]е осуществляют как небольшими дозами (нормальное хлорирование), так и повышенными (суперхлорирование), а также совместно с другими обеззараживающими веществами (комбинированное хлорирование).

Нормальное хлорирование, применяемое при небольшом загрязнении воды, в те[illegible]ской схеме очистки является обычно завершающим этапом Нередко его применяют и как самостоятельный процесс, [illegible]мер, когда вода достаточно чиста и обеззараживание ее п[illegible]дится главным образом с профилактической целью Дозы хлора для нормального хлорирования устанавливают так, чтобы вкусовые качества воды не были понижены Количество остаточного хлора после 30-минутного контакта допускается до 0,5 *мг/л* Необходимо обеспечить хорошее смешение хлора с водой Контакт воды с хлором до поступления ее к потребителю должен быть не менее 30 *мин.*

Суперхлорирование, т. е. хлорирование повышенными дозами хлора, применяется в тех случаях, когда нормальное хлорирование ухудшает органолептические свойства воды (например [illegible]наличии в воде фенолов) или недостаточно обеззараживает [illegible]. Доза остаточного хлора при суперхлорировании обычно устанавливается в пределах 1,0—10,0 *мг/л.*

Излишек хлора, превышающий допустимую норму, удаляется из воды дехлорированием Для дехлорирования питьевых вод применяют сернистый газ и гипосульфит натрия, а также фильтрование воды через зернистый активированный уголь Расход сернистого газа на дехлорирование составляет 0,9 *мг* на каждый миллиграмм избыточного хлора Рекомендуемые соотношения между хлором и гипо[illegible]ятком колеблются от 1 0,8 до 1 7,1 Необходимую дозу гипо[illegible]та следует определять пробным дехлорированием. Активированный уголь с крупностью зерен 1,5—2,5 *мм* применяют для дехлорирования воды на специальных фильтрах. При этом высота слоя угля должна быть порядка 2,5 *м*, скорость фильтрования 20—30 *м/ч*, объем загрузки фильтра 0,2—0,25 $м^3$ на 1 $м^3/ч$ дехлорируемой воды Следует отметить, что активированный уголь поглощает не только избыточный хлор, но и ве[illegible]ства, об[illegible]лавливающие цветность, а также привкусы и запахи [illegible]ды, бл[illegible]даря чему органолептические показатели ее значительно улучшаются [94] Примерно один раз в месяц фильтры с угольной загрузкой подвергаются регенерации горячим раствором соды или щелочи. Интенсивность промывки составляет 18 $л/сек \cdot м^2$ в течение 30—45 *мин.*

В целях усиления действия хлора или фиксации хлора в воде на более длительный срок применяют комбинированные методы х[illegible]рования К этим методам относятся: хлорирова[illegible] с марганц[illegible]ванием, применяемое при дезодорации воды, хлс[illegible]ребряный и хлормедный способы, используемые для снижения доз хлора в воде; хлорирование с аммонизацией.

Последний метод получил наибольшее распространение в технологии обработки воды. Он основан на образовании моно- и дихлораминов при хлорировании воды, содержащей аммиак или соли аммония, а также при введении этих веществ в обрабатываемую воду. С учетом гидролиза хлора (см. стр. 193) протекающие при этом реакции могут быть представлены уравнениями:

$$NH_3 + HClO = NH_2Cl + H_2O,$$

$$NH_2Cl + HClO = NHCl_2 + H_2O.$$

Участок кривой остаточного хлора до максимума (см. рис. 66) соответствует области существования монохлорамина [95], обладающего меньшим, чем хлор, окислительным потенциалом и поэтому расходуется его на окисление присутствующих в воде органических веществ меньше. Аммонизация осуществляется введением в обеззараживаемую воду аммиака или со. аммония. В зависимости от целевого назначения ее можно производить перед хлорированием (преаммонизация) или после него (постаммонизация). В случае преаммонизации аммиак вводится в водоводы первого подъема за 1—2 *мин* до первого ввода хлора, при постаммонизации — в резервуары чистой воды. Наиболее эффективной является смесь, содержащая аммиак и хлор в молекулярных соотношениях 1 : 1 — 1 : 2, что примерно соответствует весовым соотношениям 1 : 4—1 : 10.

При увеличении дозы хлора он расходуется на окисление образующихся в воде хлораминов, что характеризуется участком кривой остаточного хлора от максимума до минимума (см. рис. 66). Это позволяет использовать аммонизацию и как метод дехлорирования воды [96]. Соотношение избыточного хлора и вводимого аммиака в данном случае должно соответствовать минимуму на кривой остаточного хлора, так называемой точке перелома. Хлор, входящий в состав хлораминов, называют связанным активным хлором, а гипохлоритный — свободным; после точки перелома в воде содержится лишь свободный активный хлор.

Прехлорирование используют для борьбы со значительным бактериальным загрязнением, в качестве химического средства, улучшающего некоторые процессы очистки воды (например, коагуляция, фильтрация, отстаивание или обесцвечивание), как метод борьбы со вспениванием, а также как эффективный способ обезвреживания воды при отравлении ее некоторыми ОВ. Прехлорирование производится большими дозами хлора, находящимися за точкой перелома, если она наблюдается при хлорировании природной воды, но в отличие от суперхлорирования оно не требует последующего дехлорирования воды, так как избыточное количество хлора практически полностью удаляется при дальнейших процессах ее обработки. Избыточный хлор расходуется на окисление различных примесей, сорбируется хлопьями коагулянта, окисляет органические вещества, накапливающиеся на песке фильтров и т. д.

Часто проводят совместно пре- и постхлорирование В практике очистки воды нередко применяют двойное хлорирование (первич-ое и вторичное); в таком случае к нему являют различные ебования: первичное хлорирование пре . для того, чтобы подготовить воду к последующим этапам ее очистки, вторичное хлорирование ут с тем, чтобы обес ить требуемую концентрацию остато...ого хлора в воде, пос...ающей в сеть, и тем самым гарантировать надлежащее санитарное качество последней. Для этого время контакта хлора с водой от момента смешения ее с реагентами до ближайшего потребителя должно быть не меньше 30 *мин*, если хлорир ние производят жидким хлором или раствором гипохлоритов; при совместном хлорировании и аммонизации — не м...е 1 *ч*. В случае применения хлорной извести время контакта пр имают равным 1 *ч*, а совместно с аммиаком — 1,5 *ч*. В зависимости от местных условий для контакта используют резервуары чистой воды, водоводы или специ...но сооружаемые контактные резервуары При вторичном хлори...вании реагенты, содержащие активный хлор, подают в коллектор фильтрованной воды, да вводят также и аммиак, если это требуется по технологии ...водоподготовки Для подземных вод, не подвергаемых предварительной обработке, место ввода реагентов, предусматривают перед резервуарами чистой воды. Для предварительных расчетов, при отсутствии данных технологических изысканий, дозу хлора для обеззараживания фильт анной воды принимают равной 2—3 *мг/л* и для воды подземных источников — 0,7—1,0 *мг/л*.

В практике заруб ных водос— дов п— распространение метод обеззараж ния воды м. *Озо ание* в обеспечивает высокий бактерицидный эффект, не требует тщ ельного контроля дозирования, наряду с обеззараживанием озонирование является прекрасным средством улучшения органолептических свойств воды

В Советском Союзе обработка воды озоном пока применяется на нескольких небо...ших водопроводных станциях Внедрение озона на наших водо дах по олит в ряде случаев, значительно ростить технологический процесс, осуществляя обеззараживание, ...ивание и устранение привкусов и запахов воды при помо-го и того же реагента

Озон, представляющий собой аллотропическую модификацию кислорода, получают не средственно на станциях обработки воды В основе промышле...ого изготовления его лежит реакция расщепления молекулы кислорода на атомы с последующим присоединением их к молекулам кислорода под действием тихого, полукоронного или коронного разрядов [97—99].

$$O_2 \rightleftarrows 2O - 117{,}2\ ккал;\quad 2O_2 + 2O \rightleftarrows 2O_3 + 49{,}4\ ккал.$$

Наиболее часто для производства озона на водопроводах используют обеспыленный и осушенный воздух, из кислорода которого при прохождении зоны тихого разряда в аппаратах-озонаторах синтезируется озон Образующаяся озоно-воздушная смесь поступает

для обработки воды Озонирование воды отличается некоторыми специфическими особенностями Первая из них обусловлена малой растворимостью на в воде, поэтому для получения необходимой дозы, которая устанавливается на основании технологических изысканий, через воду пускают соответствующее количество озонированного воздуха Озон более сильный окислитель, чем хлор, поэтому время контакта его с водой принимают меньше, чем при хлорировании воды Бактерицидное, спорицидное и вирулентное действие озона выше, чем хлора, озон обесцвечивает и дезодорирует природную воду, окисляет в ней железо и марганец, насыщает ее кислородом Однако, вследствие быстрого разложения озона в воде, часто ее перед подачей в водопроводную сеть хлорируют во избежание повторного развития бактерий.

Обеззараживание воды ионами тяжелых металлов (медь, серебро) основаво на способности их уничтожать микроорганизмы, требуемые для этого концентрации не превышают сотых долей *мг* на 1 *л*. Учитывая ядовитость соединений меди, такой метод можно рекомендовать только для обеззараживания промышленной воды. Обработка воды ионами серебра обеспечивает высокую степень ее обеззараживания и легко осуществима в любых условиях Бактерицидное действие серебра сохраняется в течение длительного времени, положительная физиологическая роль ионов серебра делает весьма желательным применение его в питьевом водоснабжении и в бытовых условиях [100].

Недостатком этого метода является зависимость эффекта обеззараживания от состава воды Наличие в воде веществ, адсорбирующих ионы серебра или образующих с ними нерастворимые соединения, приводит к снижению ожидаемого бактерицидного эффекта Кроме того, использование этого метода экономически обосновано только на водопроводах малой производительности

Из безреагентных методов наиболее перспективным является использование бактерицидных ультрафиолетовых лучей (длина волны 200—295 *ни*) Преимуществами этого метода являются отсутствие изменения физико-химического состава обрабатываемой воды и мгновенное протекание процесса обеззараживания при наличии всех видов бактерий, в том числе и споровых Недостатками его являются потребность в предварительно осветленной воде, так как наличие коллоидных и взвешенных частиц препятствует проникновению лучей в толщу воды, а также отсутствие последействия ультрафиолетовых лучей, что особенно важно при повторном заражении воды [101].

Термические методы обеззараживания воды — пастеризация (нагрев до 80°С) и стерилизация (нагрев до 100°С) — обычно применяются для обработки небольшого количества ее. Этими методами пользуются в бытовых условиях, в учреждениях, на судах Полное обеззараживание воды достигается после 5-, 10-минутного кипячения. Для получения кипяченой воды используют кипятильники различных систем.

§ 50. Хлорирование воды

Обработка воды хлором осуществляется при помощи специальных аппаратов-хлораторов, в которых приготовляется хлорная вода, смешиваемая затем со всей массой поступающей воды. Повсеместное распространение получили вакуумные хлораторы, исключающие утечки хлора в помещение.

На водопроводных станциях Советского Союза широко применяются разработанные в НИОХ АН УССР вакуумные хлораторы ЛК-10 малой, большой и увеличенной производительности, ЛК-11 средней производительности и ЛК-12 с отдельным эжектором, а также вакуумные хлораторы, разработанные ЛОНИИ 100 МОПМ.

Хлораторы системы Л. А. Кульского ЛК-10 и ЛК-12 имеют ротационные измерители расхода хлора, хлораторы ЛК-11 — маятниковые (рис. 67). Хлор смешивается с водой в таких хлораторах при помощи водоструйного насоса, концентрация получаемой хлорной воды — до 1,5 *г/л*. Хлораторы изготовляют из хлоростойчивых материалов (бронзы и чугуна, защищенных пластмассовыми вставками, антихлора), в эксплуатации они просты и надежны [102, 103]. Характеристика их приведена в табл. 38.

Таблица 38. Характеристика хлораторов типа ЛК

Марка	Производительность по хлору в *кг/ч*	Расход воды в *м³/ч*	Диаметр подводящего патрубка эжектора в *мм*	Габариты аппарата в *мм*
ЛК-10м	0,04—0,08	До 5	25	530×300×600
ЛК-10с	1,0—5,4	» 5	25	530×300×600
ЛК-10б	2,0—25,0	» 30	50	700
ЛК-10у	5,0—100,0	» 30	100	1300
ЛК-11	0,5—5,0	» 5	25	500×200×1250
ЛК-12	1,8—25,4	» 30	100	760×280×1350

В последнее время ротационные измерители хлораторов ЛК-10 и ЛК-12 снабжены индукционно-трансформаторными датчиками для дистанционного контроля и регулирования подачи хлора [104]. В хлораторах системы ЛОНИИ 100 (рис. 68) для измерения расхода хлора применяют жидкостные измерители или ротаметры. Такие хлораторы изготовляют из бронзы, а их ответственные детали (мембраны, капилляры) — из серебра, характеристика хлораторов приведена в табл. 39.

Хлорную воду приготовляют также в отдельно стоящих эжекторах, устанавливаемых открыто в местах ввода ее в обрабатываемую воду, газообразный хлор к ним поступает из хлораторной через ротаметры заводского изготовления.

Производительность по хлору заводских ротаметров в *кг/ч*:

РС-3	0,08—0,72	0,21—1,28	0,40—2,05
РС-5	1,28—8,1	2,05—12,8	3,28—20,5

Для более точного учета хлора часто используют комбинированный способ дозирования, сочетающий применение хлораторов ручного регулирования и весового контроля подачи хлора; в последнем случае тара с жидким хлором устанавливается на платформенных весах, газовая аппаратура и разводящие трубопроводы должны находиться под вакуумом.

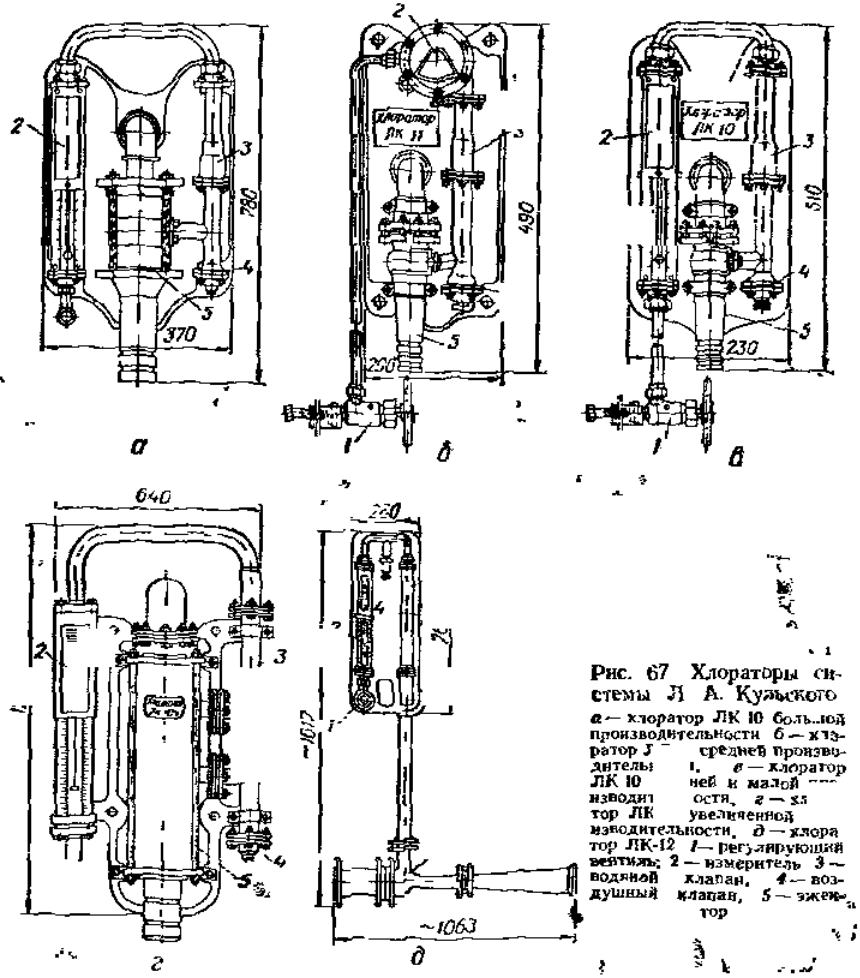


Рис. 67 Хлораторы системы Л. А. Кулъского

а — хлоратор ЛК 10 большой производительности, *б* — хлоратор *1* — средней производительности, *в* — хлоратор ЛК 10 — малой производительности, *г* — хлоратор ЛК — увеличенной производительности, *д* — хлоратор ЛК-12 *1* — регулирующий вентиль, *2* — измеритель *3* — водяной клапан, *4* — воздушный клапан, *5* — эжектор

Дозирование хлора при помощи хлораторной аппаратуры проектируют дельным на каждое место ввода с учетом полного перемешив... ия с обрабатываемой водой

Если число рабочих хлораторов не превышает двух, то дополнительно предусматривают один хлоратор резервный, при большем их числе — два резервных хлоратора, независимо от количества

Таблица 39 *Хар* *ристика хл* *в ЛОНИИ-100*

Хлоратор	Производительность по хлору в *кг/ч*	Диаметр подводящего патрубка эжектора в *мм*	Габариты аппарата в *мм*
С жидкостным измерителем	0,2—1,0	25	800×730×160
	1,0—5,0	25	
	2,0—10,0	50	
С ротаметром	0,5—3,0	25	830×650×160
	1,0—5,0	25	
	2,0—10,0	50	

отдел э стоящих эжекторов устанавливают дополнительно один резер ый и один для аварийных случаев.

К хлораторам и эжекторам подводят воду под давлением не менее 3 *ат* Минимальный расчетный расход воды для обеспечения нормальной работы хлоратора — 0,5 $м^3$ на 1 *кг* хлора при 15°С. Напор хлорной воды после хлораторов и отдельно стоящих эжекторов должен быть порядка 5—7 *м вод. ст.* Трубопроводы хлорной воды проводят к месту ввода раздельно от каждого хлоратора или эжектора, их можно объединять только через бак с разрывом струи, трубы могут быть резиновые, полиэтиленовые, винипластовые и др., кладывают их по каналам в полу или подве вая на кронште ах, прикрепленных к стенам; вне зданий их у дывают в каналах или футлярах из труб, в которых не разрешается помещать трубопроводы другого назначения.

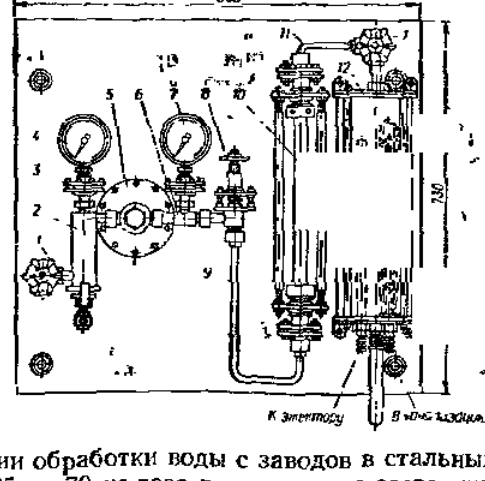


Рис. 68. Хлоратор ЛОНИИ 100
1 — запорный вентиль; *2* — фильтр газообразного хлора, *3* — мембранная камера *4, 7* — манометр *5* — редукционный клапан, *6* — тройник *8* — регулирующий вентиль *9, 11* — соединительная труба *10* — ротаметр; *12* — смеситель

Хлор поступает на станции обработки воды с заводов в стальных баллонах, вмещающих от 25 до 70 *кг* газа в сжиженном состоянии под давлением 6—8 *ат*, их хранят на расходных складах, проектируемых в соответствии с санитарными правилами для складов сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) При большом

потреблении хлора на фильтровальных станциях целесообразно оборудовать расходные склады с применением крупной тары — стальных бочек емкостью от 100 до 1000 *кг* жидкого хлора. В этом случае хлор от заводов-поставщиков получают в железнодорожных цистернах и для его перелива на водопроводных станциях устраивают специальные установки (рис. 69). Они работают следующим

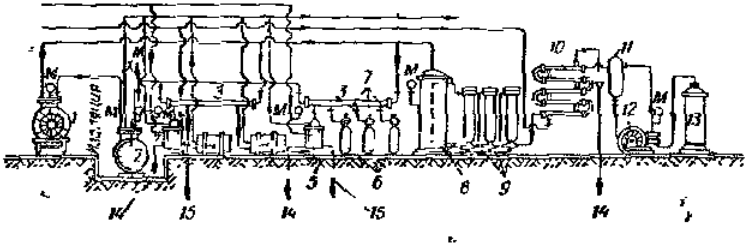


Рис. 69. Схема установки для перелива и разлива жидкого хлора из цистерн

1 — цистерны с жидким хлором; *2* — цистерна хранилище; *3* — коллекторы для хлора; *4* — хлорные бочки; *5* — поглотители; *6* — хлорные баллоны; *7* — вентили; *8* — ресивер; *9* — осушительные колонки; *10* — холодильники; *11* — маслоотделитель; *12* — компрессор; *13* — очистительная колонка для воздуха; *14* — слив в канализацию; *15* — слив к конденсационному горшку

образом [20, 105]: хлор из железнодорожной цистерны под давлением сжатого воздуха, поступающего из компрессорной, переливается в стационарные цистерны хранилища емкостью до 30 *т* (см. стр. 372). Из них хлор через коллекторы разливается в хлорные бочки или в обычные баллоны. Компрессорная установка состоит из очистительной колонки для воздуха, компрессора на 12 *ати*, холодильника для конденсации влаги, осушительных баллонов с безводным хлористым кальцием и буферного резервуара, из которого воздух подается при переливе хлора в железнодорожную цистерну, а при разливе хлора в цистерну хранилище.

При газоподачах хлора до 2 *кг/ч* допускается размещать баллоны с жидким хлором в хлораторной, причем рядом с нею необходимо устраивать помещение для хранения трехсуточного запаса хлора, если расстояние расходного склада от хлораторной превышает 100 *м* и расход хлора составляет до трех баллонов в сутки; в помещении должен быть предусмотрен отдельный выход наружу. В случае потребления большого количества хлора его подают из расходного склада, как правило, в газообразном виде.

Хлор перед поступлением в хлораторы необходимо очищать, для этого предусматривают установку на газопроводе промежуточного баллона — грязеуловителя и фильтра со стеклянной ватой.

При проектировании устройств, обеспечивающих испарение жидкого хлора в стальной таре, съем газообразного хлора при температуре помещения 18°С принимают с одного баллона — 0,5—0,7 *кг/ч*, с 1 $м^2$ поверхности бочки — 2,5—3,0 *кг/ч*; увеличение газоподачи из баллона до 10 *кг/ч* достигают путем обогрева водой с температурой не выше 30—40°С; еще больший съем хлора — 40 *кг/ч* — получают в специальных испарителях.

Хлоропроводы для жидкого и газообразного хлора прокладывают из бесшовных труб, изготовленных из углеродистой стали; они рассчитаны на рабочее давление — 16 *кг/см²* и испытательное — 23 *кг/см²* Внутри помещений их размещают на кронштейнах, прикрепляемых к стенам или колоннам; вне зданий — на эстакадах Труб соединяют муфтами, смазкой кон[illegible] или на[illegible] их с хлороустойчивыми прокладками олтами и ржавеющими Хлоропроводы укладывают с уклоном 0,01 в направлении тары с жидким хлором, в них должна быть исключена возможность образования гидравлических затворов и газовых пробок, принимаются также меры, чтобы при транспортировке хлор не увлажнялся Участки хлоропроводов, находящиеся вне зданий, защищают от солнечных лучей, а при температуре воздуха ниже —30°С теплоизолируют; при отсутствии теплоизоляции поверхность труб покрывают перхлорвиниловыми эмалями

При длине хлоропроводов до 500 *м* их рассчитывают по формуле

$$d_y = 1{,}2\sqrt{\frac{q}{v}}, \qquad (90)$$

где d_y — условный диаметр трубы в *м*,

q — максимальный расход хлор-газа или жидкого хлора в *м³/сек*, принимается в 3—5 раз больше расчетного значения;

v — скорость в трубопроводе — для хлор-газа до 3,5 *м/сек*, для жидкого хлора до 0,8 *м/сек*.

Обработку воды хлорной известью рекомендуется применять только на небольших станциях производительностью 3000 *м³/сутки*. Установки для хлорирования воды хлорной известью в значительной мере однотипны и отличаются друг от друга только некоторыми деталями и габаритами, определяющими их мощность Обычно они состоят из затворного бака, двух растворных рабочих баков и дозировочного устройства (рис 70). Баки в малых установках

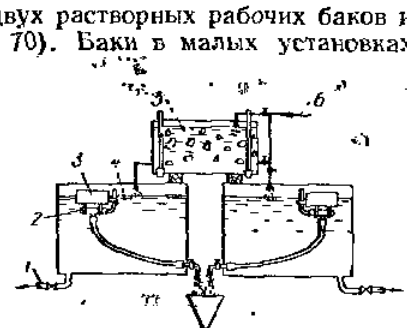


Рис 70 Схема установки для обеззараживания воды хлорной известью

1 — опорожнение раствора бака, *2* — отстаивающая шайба *3* — поплавок *4* — бак рабочего раствора *5* — затворный бак *6* — подача воды от водопровода *7* — отвод отстоявшегося раствора в обеззараживаемую воду или к эжектору

изготовляют круглыми в плане, деревянными; в больших — железобетонными, прямоугольными в плане Внутреннюю часть баков покрывают цементным раствором. Арматуру и трубы, отводящие хлорную во[illegible] изготовляют из антикоррозионных материалов (резины, винипласта, эбонита, свинца и др.) В затворном баке про-

изводят затирку определенного количества хлорной извести, в рабочих баках — разбавление полученного раствора до заданной концентрации Затворный бак, как правило, помещается над рабочими баками для самотечного поступления раствора Полезная емкость затворного бака должна составлять около 10% емкости рабочего бака, но не менее 25 *л*. Рабочие отстойные баки имеют два крана Один кран для отвода хлорной воды в дозирующий бачок; он расположен на $^1/_3$ общей высоты рабочего бака для предотвращения уноса осадка, образующегося при отстое раствора. Второй кран расположен в днище бака и служит для спуска шлама Осветленный раствор подается в воду через дозировочный бачок с постоянным уровнем, поддерживаемым при помощи поплавка. Целесообразно также использовать дозаторы типа «плавающей трубы».

Емкость растворных баков для хлорной извести $W_р$ в $м^3$ определяют по формуле

$$W_р = \frac{qtД_х}{1000b_{х.в}C\gamma}, \qquad (91)$$

где q — часовой расход воды в $м^3$;

t — время, на которое заготавливается раствор (12—24 *ч*);

$Д_х$ — доза активного хлора в *мг/л*,

$b_{х.в}$ — концентрация рабочего раствора (1—2%),

C — содержание активного хлора в хлорной извести (25—30%);

γ — объемный вес раствора хлорной извести, принимается равным 1 $т/м^3$.

Вычисленную высоту растворных баков следует увеличить на 0,2—0,35 *м*, учитывая образующийся осадок.

Электролитически полученный гипохлорит натрия целесообразно применять в тех случаях, когда доставка хлорной извести и хлора или их хранение представляют трудность, а вопрос получения электроэнергии и поваренной соли может быть легко разрешен. Для приготовления растворов гипохлорита натрия непосредственно на водопроводах станции обработки воды оборудуют установками, в которых приготовляется 10—15% раствор поваренной соли и осуществляется его электролиз в ваннах без диафрагмы. В состав установки входят электролизер, блок электропитания постоянным током, склад поваренной соли, баки для приготовления и подачи раствора соли Б. электропитания необходимо помещать изолированно от баков для соли и электролизеров, которые могут находиться в одном помещении; трубопроводы и оборудование, соприкасающиеся с раствором электролитически полученного гипохлорита натрия, изготовляются из антикоррозионных материалов

Технологическая схема гипохлоритной установки непрерывного действия КГ-13 системы ИОНХ АН УССР приведена на рис 71 [18] Приготовленный в баках 10%-ный раствор поваренной соли поступает в рабочий бачок. Оттуда он подается в сифонный бачок,

который обеспечивает поступление рассола определенными порциями и осуществляет разрыв его струи, чем предотвращается утечка тока через электролит Из сифонного бачка рассол сливается в распределительный бачок и стекает в приемные воронки десяти электролизеров Последние представляют собой бездиафрагменные ванны небольшой емкости, где катодами служат корпуса электролизеров, в качестве анодов использованы графитовые электроды хлорных ванн; электролизеры непрерывно охлаждаются водой, подаваемой в кожухи. Рассол, поступая в электролизер, заполняет пространство между анодом и кожухом до сливного отверстия В течение времени, определяемого пульсациями сифона (30—90 *сек*), протекает электролиз, вследствие чего в растворе образуется гипохлорит Последующая порция рассола выталкивает из электролизеров рассол с образовавшимся в результате электролиза гипохлоритом через сливные трубки в бак, откуда при помощи дозирующего устройства подается в обеззараживаемую воду. Размеры установки: диаметр 1,1 *м*, высота 1,9 *м*. Расход рассола составляет 350—400 *л/ч* Производительность — до 2,5 *кг/ч* активного хлора Концентрация активного хлора в растворе гипохлорита 3—5 *г/л* Напряжение на клеммах последовательно включенных электролизеров до 70 *в*, сила тока в цепи 230—300 *а*

Работа установки периодического действия КГ-14 (рис. 72) основана на естественной циркуляции рассола в 10 ячейках, образованных биполярно подключенными вертикальными графитовыми электродами Она работает на 10%-ном рассоле, который периодически заливается из растворного бака в ванну до отверстий в боковых стенках электролизера Циркуляция электролита через отверстия в корпусе происходит в результате разности плотности рассола, находящегося в ванне, и рассола, заключенного в ячейках, пронизанного мелкими пузырьками выделяющегося при электролизе водорода В результате такой циркуляции и электрохимического действия тока в рассоле постепенно нарастает концентрация гипохлорита При достижении максимальной концентрации гипохлорита в растворе процесс прекращается и раствор сливается в сборный бак Внутренние размеры ванны 60×70×90 *см*. Объем наливаемого в нее рассола составляет 150—200 *л* Производительность установки — до 1 *кг/ч* активного хлора Концентрация активного хлора в растворе гипохлорита — 6—8 *г/л*. Напряжение на клеммах биполярно работающим электродам — до 70 *в*, сила тока — 50—125 *а*.

Непрерывного действия электролитические гипохлоритные установки с насыпными магнетитовыми электродами и пластинчатыми графитовыми разработаны также в Академии коммунального хозяйства РСФСР [19]

Расчет технических и экономических показателей работы гипохлоритных установок производят по формулам

расход поваренной соли (приближенно) в *кг/кг* активного хлора

$$K_c = \frac{A \cdot 10}{x} \qquad (92)$$

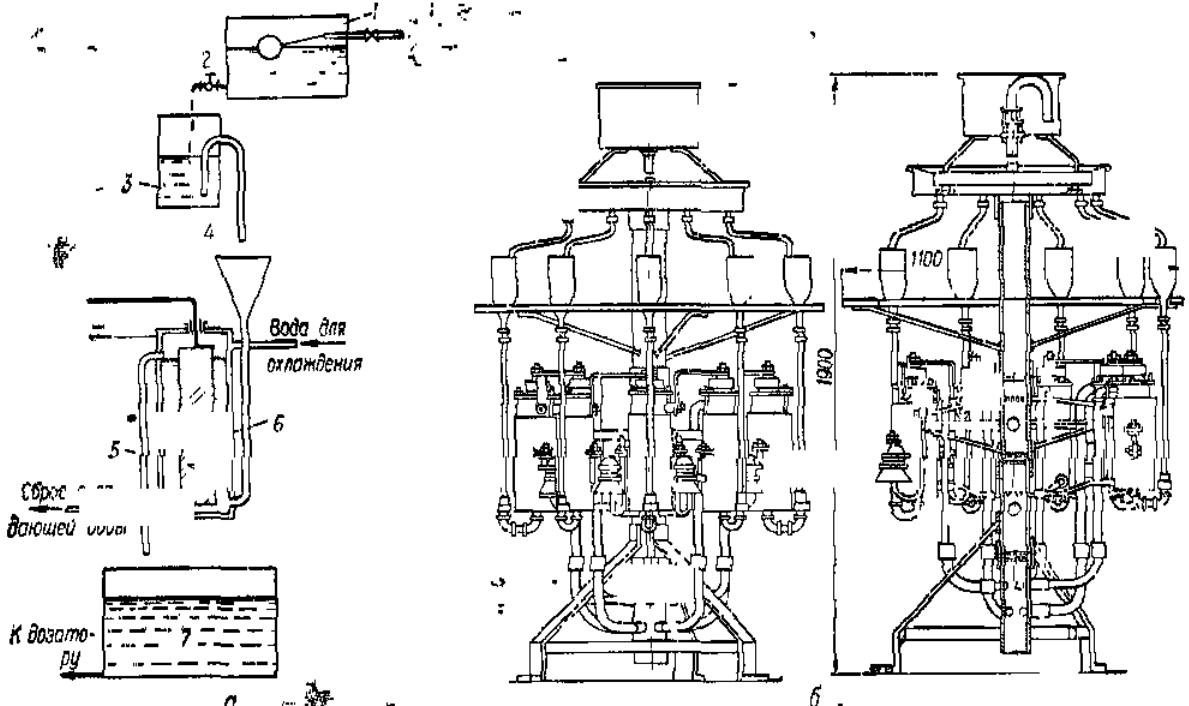


Рис. 71 Гипохлоритная установка непрерывного действия КГ-1?

а — схема; *б* — общий вид; *1* — бачок постоянного уровня *2* — регулирующий кран *3* — бачок дозатор, *4* — сифон, *5* — [illegible] *6* — электроли[illegible] *7* — сборный бак

использование тока в проц.

$$\eta = 7{,}55\ \frac{Q}{I}\ , \qquad (93)$$

расход электроэнергии в *квт·ч/кг* активного хлора

$$K_э = \frac{I\,V}{Q}\ , \qquad (94)$$

где A — концентрация рассола в проц;

x — содержание активного хлора в растворе гипохлорита в *г/л*,

Q — производительность электролитической установки в *г/ч*;

I — си тока в цепи электрол оров в *а*,

V — н яжение на клеммах эл гролизеров в *в*

При осуществлении хлорирования с *аммонизацией* станции обработки воды оборудуют аммонизаторными установками В случае применения для аммонизации технического сульфата аммония,

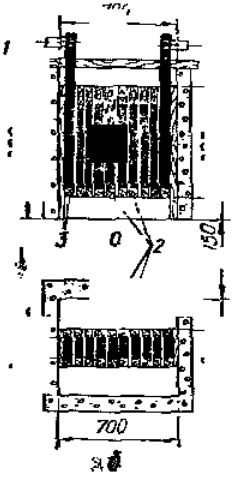
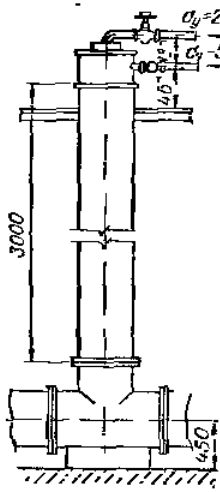


Рис. 72 Гипохлоритная установка периодического действия КГ 14.
а — разрез, *б* — план, *1* — ванна для электролиза, *2* — отверстия в корпусе электролизера *3* — электролизер с графитовыми электродами.



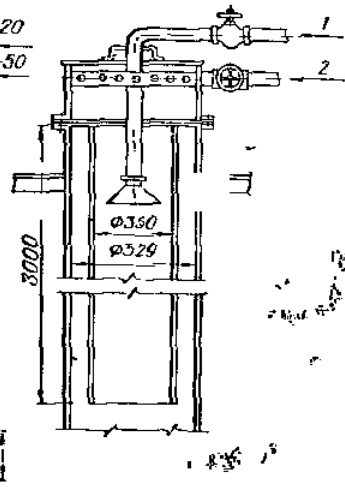


Рис. 73 Колонка для смешения аммиака с водой:
1 — подвод аммиака, *2* — подвод воды

содержащего значительное количество загрязнений, его растворяют в аппаратуре, аналогичной применяемой для хлорной извести Газообразный аммиак из баллонов дози[illegible]тся и раство[illegible]ется в воде при помощи аппаратов—аммонизато[illegible], конструкти[illegible] сходных с хлораторами типа ЛК-10 Их изготовляют из стали Они имеют отверстия для прочистки эжекторов-смесителей от накопля-

ющегося в них карбоната кальция С целью предохранения трубопроводов или шлангов, отводящих аммиачную воду от отложений, они должны быть минимально короткими, а на трубопроводе, подводящем воду к эжектору, рационально помещать устройство для магнитной обработки воды [1,56] Один раз в 2—3 месяца эжекторы и трубопроводы аммиачной воды необходимо очищать от образо-

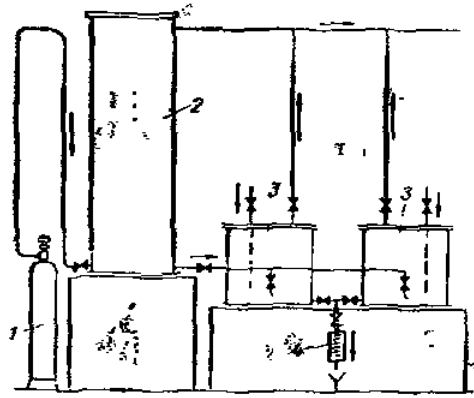


Рис 74 Схема установки для аммонизации воды раствором аммиака

1 — баллон с аммиаком, *2* — бак абсорбер *3* — рабочий бак, *4* — мерник

вавшегося на их поверхности осадка путем заливки их ингибированной соляной кислотой На рис 73 приведена колонка для поглощения газообразного аммиака, принятая на ряде водопроводов В случае применения для аммонизации аммиачной воды используют установку, схема которой приведена на рис 74 Установка состоит из двух работающих поочередно баков, оборудованных по типу сосуда Мариотта и соединенных с мерником. Для приготовления аммиачной воды из газообразного аммиака применяется бак-абсорбер

Расчет хлораторных установок Как уже отмечалось, для обеспечения нормального протекания процесса обеззараживания необходимо определенное минимальное время контакта воды с хлором. При расчете времени контакта для нормального хлорирования [107] возможны следующие случаи:

а) хлор поступает во всасывающую трубу насоса, подающего воду из источника или резервуара в водонапорную башню Время контакта в *мин* слагается из времени прохода воды по напорной линии и времени пребывания ее в водонапорной башне.

$$T = \frac{l}{60v} + \frac{15W_б}{q}, \qquad (95)$$

где l — длина напорной линии в *м*;
v — скорость воды в ней в *м/сек*;
$W_б$ — объем водонапорной башни в $м^3$,
q — расход воды в $м^3/ч$,

б) хлор поступает во всасывающую трубу насоса, подающего воду через разводящую сеть в напорный резервуар. Время контакта

равно времени прохода воды по напорной линии до первого водоразборного крана, следовательно в предыдущем уравнении исключается последний член;

в) хлор вводится в трубу, отводящую воду в резервуары чистой воды. Время контакта состоит из времени пребывания воды в резервуаре, зависящего от его объема и производительности насосов, и времени прохода воды от насоса до потребителя (случаи *а* и *б*)

$$T_1 = \frac{60W_р}{q_1} + T, \tag{96}$$

где $W_р$ — объем резервуара чистой воды в $м^3$;

q_1 — производительность насосов в $м^3/ч$

На очистных сооружениях, где хлорированию подвергается непрерывный поток воды, мощность хлораторных установок определяется, исходя из часовых расходов воды и потребности хлора. Для хлорной извести и гипохлорита натрия учитывает также процентное содержание в них активного хлора. Таким образом, потребное количество активного хлора в *г/ч* для обеззараживания воды определяется зависимостью

$$\left.\begin{aligned} y_{мин} &= Д_{мин} q_{мин}, \\ y_{макс} &= Д_{макс} q_{макс}, \end{aligned}\right\} \tag{97}$$

где $q_{макс}$, $q_{мин}$ — расход воды в $м^3/ч$,

$Д_{макс}$, $Д_{мин}$ — хлоропотребность воды в $г/м^3$.

Это минимальное и максимальное потребление активного хлора должно обеспечивать хлораторной установкой.

В случае обеззараживания воды хлорной известью или гипохлоритом натрия соответствующий часовой расход хлорной извести или поваренной соли для электролиза определяется из соотношений.

$$\left.\begin{aligned} x_{мин} &= \frac{100 Д_{мин} q_{мин}}{P}; \\ x_{макс} &= \frac{100 Д_{макс} q_{макс}}{P}, \end{aligned}\right\} \tag{98}$$

где P — процентное содержание активного хлора в хлорной извести (принимается обычно 20—25%) или выход активного хлора при электролизе поваренной соли (8—10%)

Максимальный расход хлорного раствора и хлорной воды в *л/ч* определяется зависимостями.

для хлорной извести или гипохлорита натрия

$$q^{изв}_{макс} = \frac{q_{макс} Д_{макс} \cdot 100}{P C_{изв}}; \tag{99}$$

для хлорной воды

$$q^{хл}_{макс} = \frac{q_{макс} Д_{макс}}{C_{хл}}, \tag{100}$$

где $C_{изв}$ и $C_{хл}$ — соответственно концентрации хлорной извести или гипохлорита натрия и хлорной воды.

Исходя из полученных значений $q^{изв}_{маш}$ и $q^{хл}_{макс}$, производят расчет труб, подводящих воду к хлораторной установке, и сливных шлангов для хлорной воды или хлорного раствора.

При расчете испарения хлора из баллонов и бочек падение температуры жидкого хлора при отсутствии теплообмена с внешней средой может быть подсчитано по формуле

$$\Delta t^0 = \frac{\lambda y_{макс}}{(y - y_{макс})\, c}, \qquad (101)$$

где λ — удельная теплота испарения хлора, равная 62,7 *ккал/кг*;

c — удельная теплоемкость жидкого хлора, равная 0,2262 *ккал/кг* (средняя между 0 и 24°С);

y — количество жидкого хлора в баллоне или бочке до испарения в *кг*.

Количество тепла, затрачиваемое на испарение хлора при этом, равно

$$Q_{исп} = \lambda y_{макс} \qquad (102)$$

При расчете поверхности испарителей и температуры нагрева можно пользоваться формулой

$$Q_{исп} = KF(t_1^0 - t_2^0)\, y_{макс} T, \qquad (103)$$

где F — поверхность нагрева в $м^2$;

T — время испарения в *ч*;

$t_1^0 - t_2$ — разность температур внешней среды и жидкого хлора;

K — коэффициент теплопередачи.

Величина его на основании экспериментальных данных для разных случаев теплопередачи приведена на рис 75 Как уже отмечалось, температура обогревающей среды не должна быть выше 40° С во избежание коррозии материала баллонов и бочек от прямого действия хлора

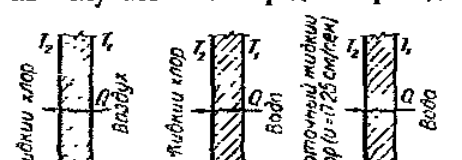


Рис. 75. Схематическое изображение условий теплопередачи

При расчете установок [20] для перелива хлора из железнодорожных цистерн необходимое давление сжатого воздуха в *ати* находят по формуле

$$P_в = P_x + \Delta P + h_в, \qquad (104)$$

где P_x — упругость паров хлора;

ΔP — избыточное давление воздуха, принимается равным 2 *атм*;

$h_в$ — потери давления в воздухопроводе

Производительность компрессорной установки в $м^3/мин$ при этом равна

$$Q = 1{,}3\, \frac{W_п P_в}{T \cdot 60}, \qquad (105)$$

где $W_ц$ — емкость железнодорожной цистерны в $м^3$;

T — время, затрачиваемое на перелив в *ч*

Мощность на валу компрессорной установки в *квт* определяется из зависимости

$$N = 0{,}736 Q_в P_в, \qquad (106)$$

откуда мощность двигателя в *квт* равна

$$N_д = 1{,}3 \frac{M}{\eta_п}, \qquad (107)$$

где $\eta_п$ — к п д ус ки;

1,3 — коэффи . запаса мощности для преодоления пускового момента

Помещения, предназначенные для хлораторной аппаратуры, должны иметь два выхода. Один выход дел ют непосредственно наружу, второй в отдельно стоящей хлор рной — через тамбур, а в хлор й, располож ой в блоке очистных сооружений, — в общий ко ор куда не д кно быть выходов из бытовых и служебных пом й, диспет ских и других пунктов управления; двери хлораторной герметизируются Расходный склад хлора может прил ать к хлораторной, но отделяется от нее огнестойкой стенкой б проемов

Для размещения хлораторов необходима площадь из расчета 2 $м^2$ на каждый аппарат или 5 $м^2$ в те с весами Хлораторы крепят при помощи штырей на расстоя ли 25—30 *см* от стены. Расстояние между аппаратами принимают равным 60—80 *см*.

Помещения хлораторных обеспечивают вентиляцией с 12-кратным обменом воздуха Вытяжка принудительная с отсосом воздуха на уровне пола и выб его через трубу, возвышающуюся на 2 *м* над коньком здания, т ток воздуха — естественный Целесообразно предусматривать а матическое включ ие вентиляционной установки при входе с нуживающего перс ла в хлораторную и при повышении концентрации хлора в помещении выше нормы.

В хлораторной следует поддерживать температуру в пределах 15—25°С. В случае печного отопления топка должна располагаться в там ре, об ев ическими приборами с неза ными спира ми не допус Помещения должны быть ными и иметь кусственное освещение Для хранения противогазов и спецодежды бходимо предусмотреть афы, которые с ует устанавливать в тамбурах или перед входом в хлораторную Рядом с ними предусматривают включение освещения и вентиляции.

К помещениям установок для хлорной извести и электролизной для получения гипохлорита натрия из поваренной соли предъявляются те же требования, что и к хлораторным

Ус вки для аммонизации воды располагают в помещении, изолированном от хлор рной Его также об печивают ля-ей с 12-кратным обм м воздуха, отсос духа про ся под потолком Включение вентиляционной установк и освещения предусматривают у входа в аммонизаторную. Рекомендуется рас-

полагать аммонизаторные с расходным складом для хранения баллонов или бочек с аммиаком, но изолированно от него Помещения хлораторной и аммонизаторной оборудуют механизмами для транспортировки баллонов или бочек.

§ 51. Озонирование воды

Для обработки воды озоном станции водоподготовки оборудуют озонаторными установками, которые состоят из оборудования для синтеза озона и сооружений для смешения его с водой [108]

Оборудование для синтеза озона из кислорода воздуха состоит из трех основных блоков подготовки и транспорта воздуха, электропи[illegible] и проведени[illegible]неза (озонато[illegible])

Ст[illegible]ность и эконо[illegible]ность работы [illegible]наторной установки в значительной мере определяется степенью подготовки воздуха На рис 76 приве[illegible]льная схема двухступенчатой установки для кон[illegible]я воздуха перед поступлением его в озонаторы На первой ступени производится удаление влаги путем искусственного охлаждения воздуха до температуры +7°С при помощи холодильной установки. На второй — его осушка в адсорберах, заполненных силикагелем или алюмогелем, до остаточной влажности 0,05 *г/м*³, что соответствует точке росы —48°С Одновременно из воздуха удаляют пыль и пары масла от компрессора. Двухступенчатую схему подготовки воздуха рекомендуется применять при производительности озонаторной установки более 6 *кг/ч*.

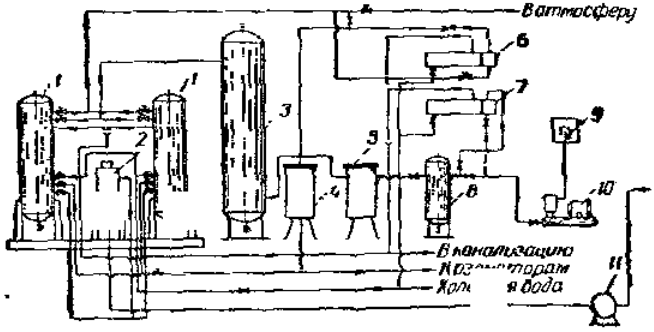


Рис. 76 Схема озонаторной установки

1 — адсорберы, *2* — воздухоподогреватель, *3* — ресивер *4* — матерчатый фильтр *5* — маслоуловитель с активированным углем *6* — вторичный холодильник *7* — первичный холодильник, *8* — маслосборник, *9* — фильтр, *10* — компрессор, *11* — газодувка для подачи воздуха на регенерацию адсорберов.

При меньшей производительности осушку воздуха можно производить в адсорбционной установке типа АГ-50, внешний вид которой приведен на рис. 77.

Средний расход воздуха для получения 1 *кг* озона составляет 72 *нм*³. Забор его следует производить через трубу, возвышающуюся на 4 *м* над коньком крыши озонаторной. Давление воздуха перед

озонаторами зависит от спо ба сме ния озо рованного воздуха с водой и потерь в трубопро ах Р четное давление воздуха в *м вод. ст.* при расстоянии озонаторов от места ввода озона в воду до 20 *м* принимают равным

Для смесителей	механических	0,6—0,8
То же,	эжекторных	1,0—2,0
»	барботажных	8,0—9,0

Расчетный расход электроэнергии на озонирование воды, включая работу вспомогательного оборудования, принимают равным

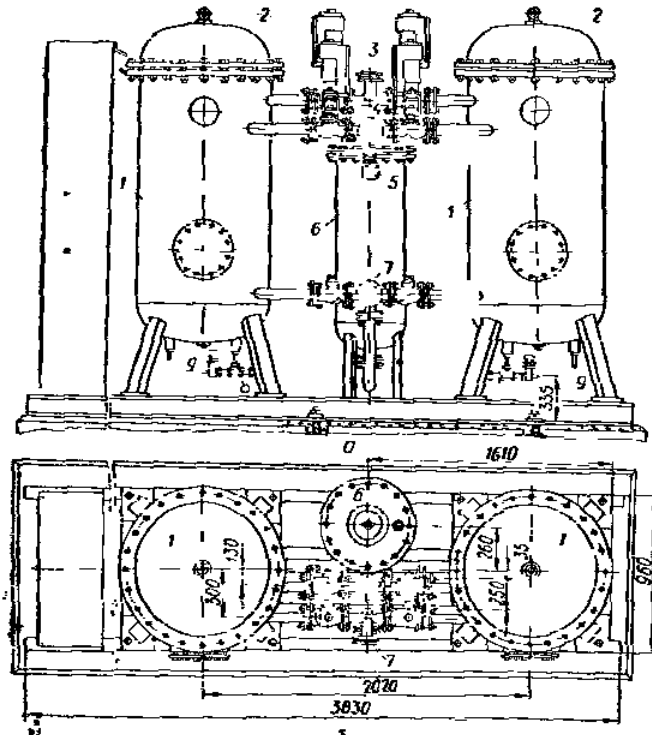


Рис. 77. Адсорбционная установка типа АГ-50 для осушки воздуха

а — фасад *б* — план 1 — осушительные башни 2 — крышки башен 3 — сброс воздуха после регенерации адсорбента, 4 — нагнетание воздуха 5 — подача воздуха на подогрев 6 — воздухонагреватель, 7 — подача воздуха на осушку 8 9 — подача и сброс охлаждающей воды

35 *квт* на 1 *кг* озона. Отечественные озонаторы, изготовляемые Курганским заводом химического машиностроения, питаются током с частотой 50 *гц* и напряжением 10 *кв*. Блок питания их проектируется в соответствии с нормами и правилами для высоковольтных установок.

Внешний вид трубчатых озонаторов марки ПО Курганского завода приведен на рис 78 Габаритные размеры, вес и характеристика их приведены в табл. 40, 41.

Таблица 40. *Габариты и вес озо* ı *ПО*

Марка	Размеры в мм			Количество трубок в шт.	Вес в кг
	D	L	H		
ПО 2	606	1600	866	85	620
ПО-3	706	1585	885	121	740
ПО-5	1006	1825	1260	241	933

Таблица 41. *Характеристика озонаторов ПО при работе на воздухе*

Марка	Возможная концентрация озона в мг/л	Сила тока в а	Мощность разряда в квт	Расход воздуха в м³/ч	Выход озона в г/ч	Расход электроэнергии в квт ч на 1 кг озона	Расход охлаждающей воды в м³/ч
ПО-2	20	1	5	20	250	14,7	1
ПО-3	20	1,4	7	24	470	14,7	1
ПО-5	20	2,5	20	50	1000	14,7	2,5

Озонаторы можно размещать в отдельном здании или блоке очистных сооружений в отдельном помещении с входом через

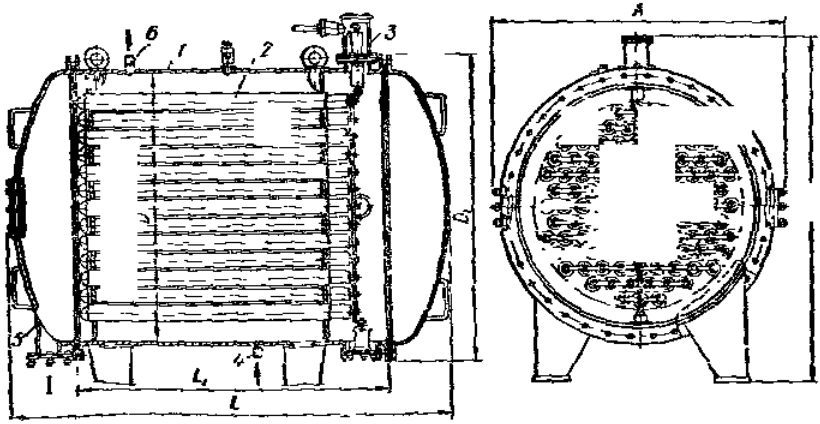


Рис. 78. Озонаторы типа ПО

1 — корпус *2* — стеклянные трубки с электродами, *3* — подача воздуха, *4* — подача охлаждающей воды *5* — выход озоновоздушной смеси, *6* — сброс охлаждающей воды

герметическую дверь. Помещение с озонаторами оборудуют вентиляцией с 6-кратным обменом воздуха, остальные помещения 3-кратной вентиляцией.

При размещении резервуара озонированной воды под помещением, предназначенным для синтеза озона, пол должен быть газо-

непроницаемым Смешивать озонированный воздух с водой можно в механических, барботажных и эжекторных смесителях (рис 79). [109—113].

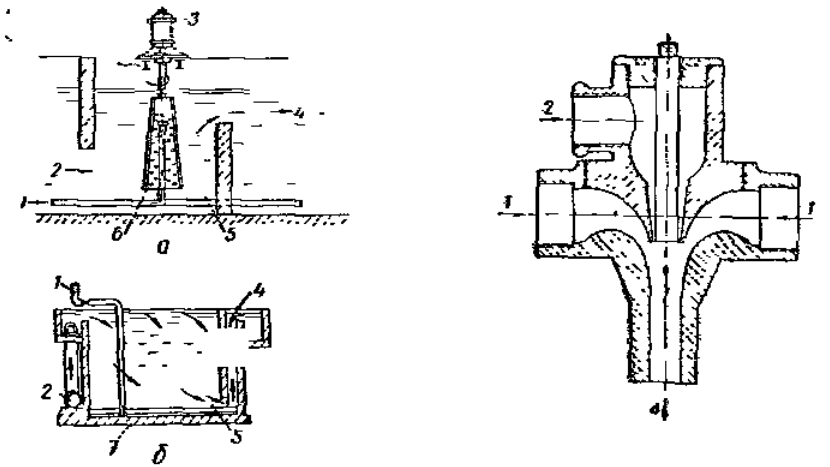


Рис 79 Смесительные устройства для озонирования воды

а — механический ротационный эмульсатор, б — барботажный смеситель, в — эжекторный смеситель, 1 — подача озона 2 — подача воды, 3 — электродвигатель, 4 — отвод озонированной воды 5 — контактный резервуар, 6 — ротор 7 — фильтросные трубы

Расход воды на охлаждение оборудования озонаторной установки 3 *м*³ на 1 *кг озона*.

§ 52. Обеззараживание воды ионами серебра

Обогащение воды ионами серебра может осуществляться несколькими способами, а именно методом контактирования воды с развитой поверхностью металла, методом непосредственного растворения в воде солей серебра и электролитическим способом [100]. Последний имеет практическое значение. Он основан на анодном растворении серебра, что обеспечивает получение концентраций металла в короткие сроки и позволяет при помощи электроизмерительных приборов точную дозировку и регулирование процесса. При растворении серебра в воде электролитическим способом используют аппараты-ионаторы системы академика АН УССР Л. А. Кульского.

Основными частями каждого ионатора являются электродозирующее устройство и серебряные электроды. Электродозирующее устройство в основном состоит из трансформатора, снижающего напряжение тока; выпрямителя, преобразующего переменный ток в постоянный; вольтметра, измеряющего напряжение постоянного тока, миллиамперметра, измеряющего силу тока соответствующую ему скорость перехода серебра в раствор, реостата, регулирующего силу тока; переключателя полярности электродов и неко-

торых других частей, автоматизирующих процесс Серебряные электроды обычно помещены в сосуд, через который протекает вода. Количество серебра $Д_с$ в *мг*, переходящего в раствор, определяется по показаниям миллиамперметра на основании закона Фарадея с внесением поправок на выход по току в зависимости от солевого состава воды и условий электролиза

$$Д_с = AIT \frac{\eta}{100}, \qquad (108)$$

где A — электрохимический эквивалент серебра, равный 1,118 *мг/а·сек*;

I — сила тока в *а*,

T — время электролиза в *сек*,

η — выход серебра по току в проц

Установлено [100], что примерная дозировка серебра в растворе в случае дезинфекции воды должна быть в пределах 0,05—0,2 *мг/л* при времени контакта 30—60 *мин*

В настоящее время промышленность выпускает два типа ионаторов — ЛК-27 и ЛК-28. Первый предназначен для индивидуального пользования в бытовых условиях, второй — для обеззараживания воды на мелких хозяйственно питьевых водопроводах, на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания, в плавательных бассейнах, при розливе минеральных вод и др

Ионатор ЛК-27 состоит из штепсельной вилки, в которую вмонтировано выпрямительное устройство (два резистора и диод), и пластмассовой вилки с электродами (анод-серебро, катод-нержавеющая сталь), защищенных перфорированным колпачком (рис 80). Так как величина сопротивлений, включаемых последовательно в сеть, значительно больше сопротивления слоя воды между электродами, сила тока, проходящего через воду, определяется в основном напряжением переменного тока (220 *в*) и омическим

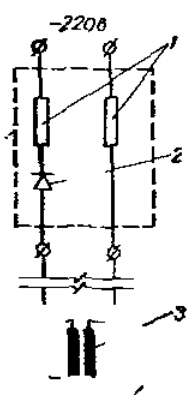


Рис 80 Принципиальная электрическая схема ионатора ЛК 27

1 — резисторы по 2,5—10 *ком*; *2* — выпрямитель (диод Д7Ж) *3* — серебряные электроды.

сопротивлением резисторов Отклонение в дозировке серебра при этом не превышает 5%, что вполне допустимо. Автоматический ионатор ЛК-28 напорного типа состоит из электропульта и гидравлической части (рис 81) Электрическая схема ионатора преобразует переменный ток напряжением 220 *в* или 127 *в* в постоянный напряжением 18 *в*; обеспечивает равномерный износ электродных пластин и уменьшает их поляризацию посредством изменения полярности, выключает аппарат через определенное время.

Основными узлами гидравлической части являются электролизер и резервуар-накопитель, связанные с водо водной магистралью системой труб Габариты а парата 1810×500×440 *мм*, вес 136 *кг*.

При помощи ионатора Л 8 можно растворить до 10 *г/ч* серебра, что обеспечивает обработку от 50 до 200 $м^3/ч$ воды. Необходимое количество аппаратов ионаторов рассчитывают, исходя из про-

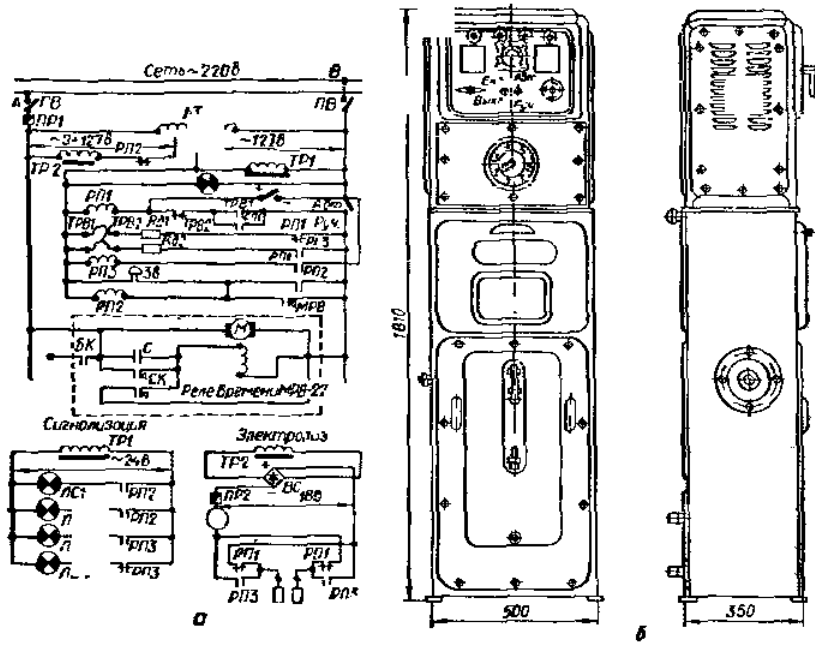


Рис 81 Принципиальная электрическая схема автоматизированного ионатора ЛК-28 (ИЭМ — 50) (*а*), общий вид (*б*).

изводительности станции и дозировки серебра, определяемой опытным путем. Как было установлено, примерная дозировка серебра в растворе в случае дезинфекции воды равняется 0,05—0,2 *мг/л* при времени контакта 30—60 *мин*.

§ 53. Обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами

В основу разработки отечественных конструкций установок для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами положена работа, проведенная в Академии коммунального хозяйства имени К Д Памфилова [101, 114] по изучению теоретических основ метода обеззараживания воды бактерицидными ультрафиолетовыми лучами (длина волны 200—295 *нм*), наиболее бактерицидное излучение около 260 *нм*.

В качестве источников бактерицидного излучения используют ртутно кварцевые лампы высокого давления типа ПРК и РКС (давление [illegible]—800 *мм рт. ст.*, температура оболочки 250—300°), ртутно-арго[illegible]ые лампы низкого давления (давление паров 3—4 *мм рт. ст.*, температура поверхности 40°)

В ртутно-аргонных лампах низкого давления, изготовляемых из увиолевого стекла, 60% излучаемой энергии приходится на долю линии с длиной волны 253,7 *нм* Благодаря этому выход бактерицидной энергии в таких лампах значительно выше Так на 1 *вт* потребляемой энергии ртутно [illegible]ые лампы дают выход бактерицидной энергии 0,033 *вт*, а [illegible]тные — 0,146 *вт*. Тем не менее значительная электрическая мощность ламп ПРК и РКС обеспечивает возможность получения за [illegible]ого количества бактерицидной энергии В табл 42 приведена характеристика наиболее мощных бактерицидных ламп, изготовляемых отечественной промышленностью.

Таблица 42 *Сравнительная характеристика ртутно-аргонных и ртутно-кварцевых ламп*

Тип лампы	Напряжение сети в *в*	Мощность в *вт*	Расчетная бактерицидная мощность в *вт*	Габариты лампы в *мм*	
				Диаметр	Длина
БУВ-60П	220	60	3,9	25	910
ПРК 7	220	1000	35	25	380
РКС-2,5	220	2500	60	25	1200

В практике водоснабжения применяют *установки с непогруженными и погруженными источниками* излучения; они могут быть безнапорными и напорными Безнапорные бактерицидные установки вы[illegible]ючают в горизо[illegible]альные участки трубопроводов Напорные установки можно ма[illegible]вать в горизонтальном, наклонном или вертикальном положении при условии горизонтального размещения бак[illegible]ов в камерах; их включают в напорные или всасывающие [illegible]

В качестве источников бактерицидного излучения в установках производительностью до 30 $м^3/ч$ обычно применяют бактерицидные лампы БУВ Для более крупных установок рекомендуются ртутно-кварцевые лампы типа ПРК и РКС Шкафы управления устанавливают в месте размещения установки или смежном помещении, а ящик с сигнальными устройствами — в местном диспетчерском пункте или помещении деж[illegible] персонала Установку, шкаф управления и ящик сигнализации заземляют.

Бе[illegible]порная установка с не[illegible]женными источниками бактерицидн[illegible] излучения [illegible]а ОВ-[illegible] ведена на рис 82 Она представляет собой камеру прямоугольной формы с тремя лотками, над кот[illegible]ами в отражателях параболической ф[illegible] помещаются три бак[illegible]рицидные лампы Вода подается в п[illegible] лоток через дырчатую перегородку; сделав два поворота в лотках, она через перелив удаляется из установки При подключении к напорному

трубопрес[illegible] рекомендуется оборудовать установку промежуточным бач[illegible] с шаровым краном, обеспечивающим постоянный расход и уровень воды в установке, между бачком и установкой для регулирс[illegible] и воды [illegible] ливается диафрагма Расчетная прои[illegible] сть ус[illegible] $м^3/ч$, потеря напора в ней составляет 0,10—0,15 *м*.

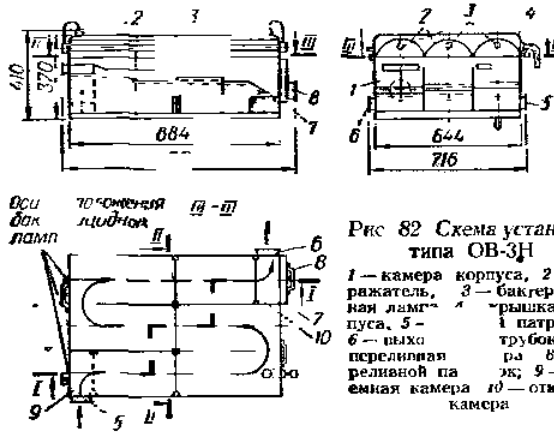


Рис 82 Схема установки типа ОВ-3Н

1 — камера корпуса, *2* — отражатель, *3* — бактерицидная лампа, *4* — крышка корпуса, *5* — [illegible] патрубок, *6* — выхо[illegible] трубок, *7* — переливная [illegible]ра *8* — переливной па[illegible]ж; *9* — приемная камера *10* — отводная камера

Напорная установка с погруженными источниками бактерицидного излучения типа ОВ АКХ-1 приведена на рис 83 Она состоит из отдельных камер с ртутно-кв[illegible]свыми лампами высокого давления типа ПРК-7 Корпус камеры состоит из двух отдельных половин литой конструкции, соединяемых стяжными болтами на резиновой прокладке Интенс[illegible]ное перемешивание воды внутри корпуса достигается при помо[illegible]шести радиальных перегородок Для доступа внутрь камеры [illegible]тся окна Наблюдение за работой лампы и внутренним состоя[illegible]ем камеры осуществляется через стекло в [illegible]й кры[illegible]е В центре камеры в кварц[illegible]цилиндрическом ч[illegible]ле, зак[illegible]енном в торцовые цоколи, [illegible]ается лампа. Поверхность кварцевого чехла очищается щеткой

Техническая характеристика одной секции следующая.

Производительность установки в стандартных условиях при 5 камерах	150 $м^3/ч$
Потеря напора в каждой камере при расходе воды $м^3/ч$	0,5 *м*
Рабочее давление	5 *атм*
Рабочий орган каждой камеры	
Ртутно-кварцевая лампа высокого давления	ПРК-7
Потребляемая мощность лампы	1000 *вт*
Расчетная бактерицидная мощность лампы	35 »
Габариты установки	
ширина	620 *мм*
высота	740 »
длина одной камеры	650 »
вес одной камеры	260 *кг*
длина подводящих патрубков	300 *мм*
вес подводящих патрубков	70 *кг*

В последнее время для обработки большого количества воды (до 3000 $м^3/ч$) разработаны самотечные кассетные установки типа ОВ-ПК-РКС. В них обрабатываемая вода протекает по каналу длиной до 7 *м*, глубиной около 1 *м* и шириной 1,35 *м*, в котором устанавливают 10 кассет, в каждой из них смонтировано 8 ртутно-

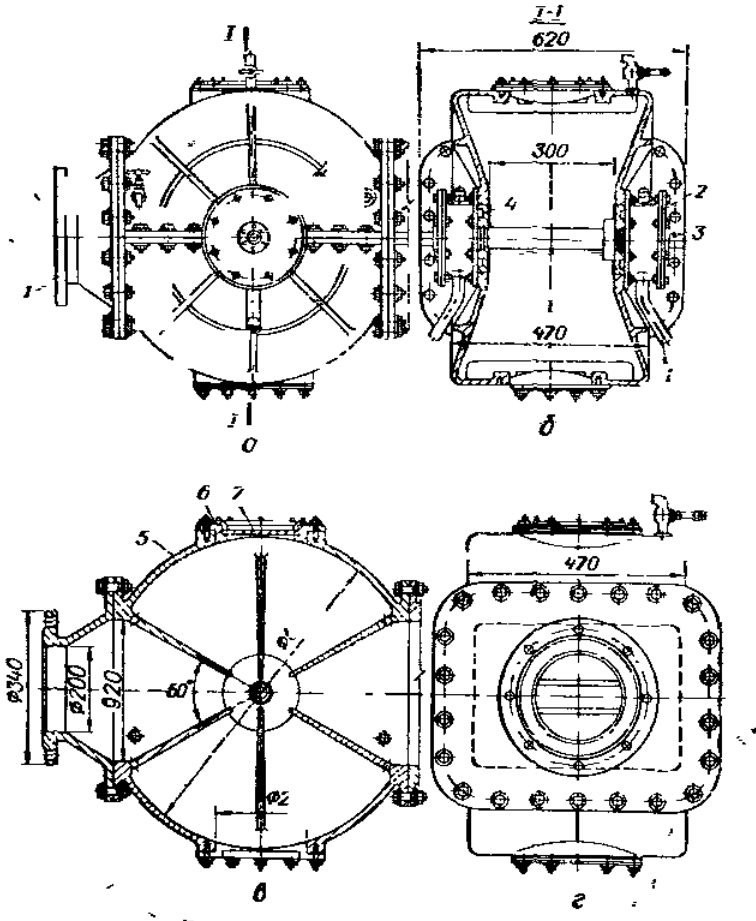


Рис 83. Типовая установка ОВ АХК 1:
а — фасад *б* — продольный разрез *в* — поперечный разрез *г* — вид со стороны фланца *1* — дренажный патрубок. *2* — крышка *3* — смотровое стекло. *4* — стакан. *5* — корпус; *6* — верхний фланец *7* — наблюдательное стекло.

кварцевых ламп высокого давления РКС-2,5 Бактерицидные лампы заключены в кварцевые чехлы, наружная поверхность которых очищается щетками, вращающимися потоком воды (рис. 84)

Расчет бактерицидных установок целесообразно производить на основании экспериментального определения коэффициента погло-

щения бактерицидного излучения обрабатываемой водой. При отсутствии таких данных рекомендуются следующие значения коэффициента

Для бесцветных подземных вод с глубоких горизонтов	0,1 $см^{-1}$
Для родниковой, грунтовой подрусловой и инфильтрационной воды	0,15 »
Для обработанной воды поверхностных источников	0,3 »

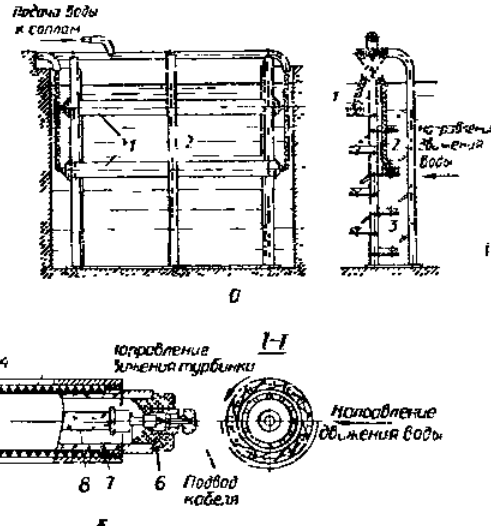


Рис. 84. Бактерицидная установка большой производительности типа ОВ ПК РКС
а — рама кассета, *б* — блок с кварцевой лампой РКС-2,5, *1* — блоки с бактерицидными лампами, *2* — подача воды давлением 1,5 *ат*, *3* — сопла, направляющие воду на турбинки для очистки чехлов, *4* — турбинка, *5* — щетки, *6* — резиновые пробки, *7* — чехол, *8* — бактерицидная лампа

Потребная бактерицидная мощность источников бактерицидной радиации для обеззараживания заданного расхода воды $F_б$ в *вт* определяется из уравнения

$$F_б = \frac{q\alpha K \lg\left(\frac{P}{P_0}\right)}{1563,4\eta_п\eta_0}, \qquad (109)$$

где q — производительность аппарата в $м^3/ч$;

α — коэффициент поглощения водой бактерицидного излучения в $см^{-1}$;

K — коэффициент сопротивляемости бактерий кишечной палочки в $мквт \cdot сек/см^2$, принимается равным 2500,

P_0 — коли-индекс воды до облучения в *ед/л*;

P — коли-индекс воды после облучения в *ед/л*, принимается по ГОСТ 2874 не более 3,

$\eta_п$ — коэффициент использования интенсивности потока бактерицидных лучей, принимается равным 0,9;

η_0 — коэффициент использования бактерицидного облучения, принимается равным 0,9.

При мощности бактерицидных ламп $F_л$ в *вт* количество их определяется зависимостью

$$n = F_б : F_л. \qquad (110)$$

Расход электроэнергии на обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами S в *вт·ч/м³* можно определить по формуле

$$S = \frac{Nn}{q}, \qquad (111)$$

где N — потребляемая мощность лампы в *вт*.

§ 54. Примеры расчетов установок для обеззараживания воды

Пример 1. Рассчитать рабочие баки для хлорирования воды хлорной известью Производительность водоочистной станции — 250 *м³/ч*. Доза активного хлора — 0,5 *мг/л*.

Баки для хлорной извести рассчитывают по формуле (91)·

Принимая С равным 25%, $b_{хи}=1\%$; $t=12$ *ч*, находим объем баков

$$W_р = \frac{250 \cdot 0{,}5 \quad 12}{100 \cdot 25 \cdot 1} = 0{,}6 \ м^3.$$

При полезной высоте рабочего бака, равной 0,7 *м*, площадь его будет

$$F = 0{,}6 : 0{,}7 = 0{,}85 \ м^2.$$

откуда диаметр бака

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}85}{3{,}14}} \approx 1 \ м.$$

Устанавливают два бака по схеме, представленной на рис 70.

Пример 2. Рассчитать установку для хлорирования воды водопровода производительностью 10 тыс. *м³/сутки* Хлор вводят во всасывающую линию центробежных насосов Имеется водонапорная башня емкостью 300 *м³* и подводящий к ней напорный трубопровод длиной 1500 *м*. Скорость движения воды в трубопроводе — 1,15 *м/сек*.

Используя формулу (95), определяем время контакта воды с хлором

$$t = \frac{1500}{60 \cdot 1{,}15} + \frac{15 \quad 300 \quad 24}{10000} = 21{,}7 + 10{,}8 = 32{,}5 > 30 \ мин.$$

Из полученных данных видно, что время контакта воды с хлором отвечает требуемой норме для обеззараживания воды.

Для нефильтрованной воды расчетную дозу хлора принимаем равной 2 *г/м³*. Часовой расход хлора по формуле (97) равен

$$y_{макс} = \frac{2 \quad 10000}{24} = 835 \ г/ч.$$

Принимаем в хлораторной установке три вакуумных хлоратора ЛК-10 малой производительности (см. табл. 38), из них два рабо-

чих и один резервный; с учетом того, что с одного баллона емкостью 30 *кг* жидкого хлора без подогрева можно снять лишь 0,5 *кг/ч* хлор-газа, устанавливаются два баллона по одному на каждый хлоратор.

Пример 3 Рассчитать установку для перелива жидкого хлора. Давление сжатого [illegible]а, подаваемого компрессорной установкой, определяем по [illegible]ие (104):

$$P_в = 7{,}63 + 2 + 0{,}87 = 10{,}5 \ атм,$$

где 7,63 — упругость паров жидкого хлора при 25° в *атм*,

0,87 — потери давления в газопроводах в *атм*.

Производительность компрессорной установки при емкости железнодорожной цистерны 13 $м^3$ и времени, затрачиваемом на перелив, 5 *ч*, находим из зависимости (105).

$$Q_в = 1{,}3 \frac{13 \cdot 10{,}5}{5 \cdot 60} = 0{,}60 \ м^3/мин$$

Для установки необходимо использовать три компрессора Бежецкого завода производительностью 0,25 $м^3/мин$ и давлением 11 *атм*.

Используя выражения (106) и (107), находим мощность на валу компрессоров и мощность необходимых двигателей

$$N = 0{,}736 \cdot 0{,}5 \cdot 11 = 4 \ квт;$$

$$N_д = 1{,}3 \frac{4}{0{,}6} = 9 \ квт$$

Пример 4. Рассчитать установку для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами непогружного (лоток) и погружного типов. Производительность установки 30 $м^3/ч$. Обрабатывается очищенная вода поверхностного источника с коэффициентом поглощения $\alpha = 0{,}2 \ см^{-1}$. При исходном коли-индексе, равном 1000, степень обеззараживания воды равна 0,001, коэффициент сопротивляемости бактерий кишечной палочки — $K = 2500 \ мквт \cdot сек/см^2$.

Для установки лоткового типа принимаем в качестве источника бактерицидной радиации лампы БУВ-60 (см. табл. 42) с расчетной мощностью $N_л = 3{,}9 \ вт$.

Отражатели установки изготовляют из нержавеющей стали $K_{отр} = 0{,}3$; угол отражения $\alpha_{отр} > 180°$. В этих условиях коэффициент использования бактерицидной мощности примерно равен 0,65.

Приняв коэффициент использования интенсивности потока бактерицидных лучей $\eta_п = 0{,}9$ (слой воды поглощает 90% бактерицидной радиации), находим потребную мощность бактерицидных ламп, используя формулу (109)

$$F_б = -\frac{30 \cdot 0{,}2 \cdot 2500 \lg 0{,}001}{1563{,}444 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}9} = \frac{30 \cdot 0{,}2 \cdot 2500 (-3)}{1563{,}444 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}9} = 59 \ вт.$$

Из формулы (110) количество ламп в установке должно быть не менее

$$n = 59 : 3{,}9 \approx 15 \ шт.$$

При расстоянии между лампами 12 *см* длина корпуса установки будет равна

$$15 \cdot 12 = 180 \text{ см} = 1{,}8 \text{ м}.$$

Ширину лотка принимаем равной 88 *см*, так как длина бактерицидной лампы БУВ-80 равна 91 *см*. Для улучшения циркуляции воды лоток разделяем на 3 отсека шириной 60 *см*, по которым последовательно протекает обеззараживаемая вода. Высота слоя воды в лотке определяется из зависимости

$$h = -\frac{-1}{0{,}2 \cdot 0{,}43429} \approx 11{,}5 \text{ см}$$

Общая высота корпуса лотка при этом будет составлять

$$4 + 16 + 11{,}5 = 31{,}5 \text{ см}.$$

Габариты лотка 180×88×31,5 *см*

При расчете установки погружного типа принимаем, что она оборудована ртутно-кварцевыми лампами высокого давления ПРК-7 (см. табл. 42).

Коэффициент использования бактерицидной мощности источника принимаем равным 0,9, а коэффициент использования интенсивности потока бактерицидной радиации 0,95.

Потребная бактерицидная мощность всех ламп определяется из формулы (109).

$$F_6 = -\frac{30 \cdot 0{,}2 \quad 2500\,(-3)}{1563{,}44 \cdot 0{,}9 \quad 0{,}95} = 28{,}4 \text{ вт}.$$

Количество ламп должно быть равно $n = 28{,}4 \cdot 35 \approx 1$ шт., где 35 — расчетная бактерицидная мощность ламп ПРК-7 в *вт*

Таким образом находим, что для обеззараживания воды в данном случае достаточно одной секции установки ОВ-АКХ-1.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОСТАВА ГОМОФАЗНЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

ГЛАВА XI

УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ ПРИВКУСОВ, ЗАПАХОВ И РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ

§ 55. Удаление привкусов и запахов

В природных водах вследствие естественного или искусственного за[illegible]знения появляются привкусы и запахи Запахи и привкусы ес[illegible]твенного происхождения обусловлены протеканием в источни[illegible]одоснабжения химичес[illegible]с, биохимических, гидробиологических и[illegible]кробиологических процессов, в результате которых в воде по[illegible]являются вещества, обладающие органолептическими свойства[illegible]ми[illegible]апахи и привкусы искусственного пр[illegible]кдения в основном о[illegible]словлены промышленными стоками. Если [illegible]нтенсивность запа[illegible]х[illegible] [illegible]ов в в[illegible] превышает нормы, допустимые для хозяйст[illegible] [illegible]ого во[illegible]снабжения, то необходимо обеспечить их у[illegible]знение, осуществляя д[illegible]дорацию воды.

[illegible]нтенсивность запаха в [illegible]л оценив[illegible]ся органолептически по п[illegible]...балльной шкале или [illegible]... порогу разбавления водой, не имеющей запаха. Сравнительные данные этих методов контроля следующие

Интенсивность запаха	Не ощущается	Очень слабый	Слабый	Заметный	Отчетливый	Сильный
В баллах	0	1	2	3	4	5
По порогу разбавления водой	0	2	5	10	50	100

По ГОСТ 2874—54 для хозяйственно-питьевой воды по пятибалльной системе при 20°С допускаются привкусы и запахи не более 2 баллов.

Привкусы и запахи, возникающие вследствие повышенного содержания железа, солей, сероводорода или хлора, удаляют посредством обезжелезивания, обессоливания, дегазации и дехлорирования

При устранении привкусов и запахов, вызываемых органическими веществами, используют окислительные и адсорбционные методы, а также методы о[illegible]ные на летучести этих веществ. В качестве окислителей пр[illegible]от хлор, марганцевокислый калий, озон. В качестве сорбентов — активированный уголь Летучие вещества, придающие воде привкусы и запахи, удаляют аэрированием

Хлорирование воды небольшими дозами обычно усиливает привкусы и запахи. Особенно заметное увеличение запаха наблюдается при наличии в воде фенолов вследствие образования при хлорировании хлорфенолов, обладающих резким запахом Поэтому в данном случае либо увеличивают окислительно остановительный потенциал системы «природная вода — хлор», применяя перехлорирование, либо снижают его, используя хлорирование с аммонизацией

Перехлорирование воды дозами до 10—12 *мг/л* обусловливает окисление фенолов до малеиновой кислоты, не имеющей неприятного запаха. Следует отметить, что в случае применения перехлорирования обычно необходимо воду дехлорировать химическими (сернистый газ, гипосульфит) или адсорбционными (активированный уголь) методами При обработке воды большими дозами хлора необходимое время контакта — не менее 2—3 *ч*. Целесообразно в этом случае хлорировать воду в ковше или на насосной станции первого подъема, а дехлорировать после резервуара чистой воды [96]

Хлорирование с аммонизацией осуществляется как преаммонизация — перед вводом хлора в воду добавляют аммиак и аммонийные соли из расчета 1 : 4 — 1 : 10 по отношению к дозе хлора Образующийся хлорамин обладает меньшими окислительными свойствами чем хлор, в результате чего не происходит образования хлорфенолов. Запахи и привкусы, обусловленные деятельностью микроорганизмов, преаммонизацией не устраняются. Аппаратура для осуществления хлорирования и аммонизации воды описана выше (см. стр 199—212).

Действие обычных доз хлора на вещества, придающие воде привкусы и запахи, может быть усилено применением марганцевокислого калия (дозы от 0,3 до 0,5 *мг/л*), добавляемого перед или после введения хлора В первом случае марганцевокислый калий используют для разрушения органических веществ, вступающих в реакцию с хлором и образующих хлорпроизводные с резко усиленными органолептическими свойствами При наличии в воде фенолов, перманганат добавляется до введения хлорсодержащих препаратов Другие реагенты — коагулянт, активированный уголь — должны при этом вводиться не ранее, чем через 10— *мин* после добавления перманганата Во втором случае он разлагает образовавшиеся хлорпроизводные Обработка воды марганцевокислым калием может осуществляться и как самостоятельное мероприятие [21]

Перманганат калия применяют как сильный окислитель для устранения из воды запахов и привкусов, дозу его принимают в зависимости от перманганатной окисляемости воды, показателя, характеризующего загрязнение ее органическими веществами:

Окисляемость воды в *мг/л* O_2 .	8—10	10—15	15—25
Доза перманганата калия в *мг/л*	1— 3	3— 5	5—10

При наличии загрязненных вод, обладающих интенсивными запахами и привкусами, доза перманганата может быть увеличена

при обосновании ее результатами технологических изысканий. Возможно также совместное применение перманганата калия и активированного угля

Перманганат калия на станциях обработки воды применяют в виде 0,5—3,0% раствора в расчете на товарный продукт Такой раствор готовят в стальных или железобетонных баках с наклоном стенок дна под углом 40—45° к горизонтали; перемешивание осуществляют гидравлическим или механическим способом или при помощи сжатого воздуха Количество баков, используемых также в качестве расходных, должно быть не менее двух Дозируют раствор при помощи дозаторов для отстоенных растворов, например, поплавковых Транспортируют раствор перманганата к месту его ввода в обрабатываемую воду по стальным или пластмассовым трубопроводам

Объем растворно расходных баков для перманганата калия рассчитывают по формуле (17), принимая время полного растворения товарного продукта в ч равным.

При температуре воды 10—20°С	4—6
То же 40—50°С	2—3

Обработка воды озоно воздушной смесью приводит практически к полному удалению из воды привкусов и запахов [38], органолептические свойства ее при этом значительно улучшаются Доза озона определяется на основе технологических исследований. Озоно-воздушную смесь получают при помощи тихого электрического разряда в озонаторах Насыщение воды озоном производится в аппаратах оросительного или барботажного типа, а также в мощных водоструйных приборах (см. стр. 215).

Удаление из воды привкусов и запахов адсорбционными методами осуществляется фильтрованием воды через зернистый активированный уголь или путем добавления в воду активированного угля в виде порошка Фильтрование воды через активированный уголь производится в фильтрах напорных Объем загрузки фильтров составляет 0,06—0,12 $м^3$ активного угля на 1 $м^3/ч$ фильтруемой воды Размещают угольные фильтры после скорых фильтров, что позволяет увеличить срок их работы между регенерациями.

При обработке воды порошкообразным активированным углем — углевании — необходимо обеспечить интенсивное перемешивание воды с добавленным углем. Поэтому большое количество угля целесообразно вводить на насосной станции первого подъема, а также в смеситель перед коагулянтом или вместе с ним, но не ранее чем через 10 *мин* после ввода хлора. Это, кроме того, не будет снижать продолжительность фильтроцикла Малые дозы угля (до 5 *мг/л*) можно добавлять в воду перед фильтрами Дозу активированного угля в расчете на уголь марки «А-щелочной» принимают: при введении перед отстойниками или осветлителями — до 20 *мг/л*, перед фильтрами — до 5 *мг/л*. Если обрабатывается сильно загрязненная вода с интенсивными запахами и привкусами, доза активи-

рованного угля может быть увеличена на основании данных технологических исслед [94, 115]. При пересчете доз угля на другие его марки ц образно пользоваться так называемым фенольным числом, косвенно характеризующим сорбционную спо- Фенольное число показывает, сколько *мг* активного порошкообразного угля *необходимо добавить для снижения концентрации фенола в 1 л воды с 0,1 до 0,01 мг при перемешивании в течение 1 ч* Чем ниже фенольное число, тем выше сорбционная способность угля; хороший уголь, применяемый для удаления привкусов и запахов из воды, имеет фенольное число меньше 15

Активированный порошкообразный уголь используют для обработки воды в пульпе. Для этого его замачивают в течение 1 ч в герметизированных баках с гидравлическим или механическим перемешиванием Насосы для перемешивания и перекачки необходимо подбирать абразивно стойкие Концентрация пульпы — 5—10% Трубопроводы для транспортирования рассчитывают на скорость движения пульпы в них не менее 1,5 *м/сек* с ревизиями для прочистки. Применяют дозаторы таких конструкций, которые пригодны для дозирования суспензий, а при дозах до 10 *мг/л* разрешается применять сухое дозирование Помещения угольных установок должны быть вентилируемы, они относятся к категории пожароопасных.

При наличии легколетучих веществ целесообразно применять аэрирование воды При этом расход воздуха составляет от 30 до 300 $м^3$ на 1 $м^3$ воды в зависимости от применяемой аппаратуры и степени летучести веществ, обусловливающих привкусы и запахи.

В качестве профилактического мероприятия по устранению привкусов и з можно рекомендовать систематическую очистку дна и берегов водоема от растительности, а также периодическое купоросование водоема.

§ 56. Дегазация воды

Дегазация предусматривает удаление из воды растворенных в ней газов, сообщающих воде неприятные привкусы и запахи или делающих ее коррозионно активной. К таким газам в первую очередь относятся: сероводород, углекислота и кислород. Удаление из воды сероводорода обязательно при использовании ее для хозяйственно-питьевых целей Выделение из воды углекислоты производят при стабилизационной обработке воды, умягчении воды Н—Na катионированием, при ионитовом обессоливании воды, при обезжелезивании воды аэрацией Кислород извлекают при подготовке воды для котлов и систем горячего водоснабжения, а также для некоторых производств

Методы удаления газов из воды подразделяются на физические и химические, для удаления сероводорода может быть использован также биохимический метод Для более быстрого протекания процесса дегазации воды необходимо максимально развивать поверхность соприкосновения фаз вода—воздух.

Как известно, растворимость газов в жидкостях при малых давлениях вполне удовлетворительно описывается приближенным законом Ге , а зависимость ления а над раствором от пературы — ур а-Кла рона [1, 10]
В атмосферном воздухе содержится около 2 кислорода, 0,1—0,3% — углек тоты и практически отсутс ет серо ород.
В табл 43 приведена степень растворимости у кислоты и кислорода в воде, находящейся в равновесии с воздухом при атмосферном давлении и разных температурах

Таблица 43 *Содержание углекислоты и кислорода в воде, равновесно насыщенной ими при атмосферном давлении и соответствующей концентрации их в воздухе*

Температура воды в °С	Концентрации в *мг/л*		Температура в °С	Концентрации в *мг/л*	
	углекислоты	кислорода		углекислоты	кислорода
0	3,3	14,6	60	0,6	4,8
10	2,3	11,3	70	0,4	3,9
20	1,7	9,1	80	0,2	2,9
30	1,2	7,5	90	0,1	1,6
40	1,0	6,5	95	0,03	0,7
50	0,8	5,6	100	0	0

Из данных табл 43 видно, что путем аэрации воды могут быть удалены при обычных температурах углекислота и сероводород. я удаления кислорода воду необходимо подогревать или вакуумировать

Аэрацию воды можно осуществлять дождеванием, фонтанированием, пропусканием через градирни и применением дегазаторов

Дождевание воды производится при помощи специальных приспособлений В простейшем случае они представляют собой деревянные с отверстиями ящики, их помещают над приемными резервуарами Высоту падения воды в таких сооружениях принимают в пределах 2—3 *м*

Фонтанирование воды проводят в открытых железобетонных или бетонных бассейнах, над которыми при специал их сопл разбрызгивается вода Сопла уст от одиноч о или группами (пучками) на распределительных трубах, к которым малым подводится обраб тываемая да При помощи сопел ьные струи воды рас ются и образуют «факелы», между которыми протекает воз ость поступления воды из сопел должна быть такой, чтобы чивать на эльшее время пребывания ее в воздухе и наилучший эффект распыления Количество разбрызгиваемой воды на 1 $м^2$ пл ади бассейна принимают равным 1 $м^3/ч$. Проектирование брызгальных бассейнов для фонтанирования воды включает [

выбор типа сопел в з исимости от напора дегазируемой воды и степени ее загрязнения взвешенными веществами;

определение размеров бассейна и его конструирование;

метр отверстий или величина прозоров в днище принимается 20 *мм*. Расст ние от дна дегазатора до промежуто д та должно равн ся 600 *мм* В месте выхода воды из де ра раивается гидравлический затвор, высота которого на 20% больше максимал о напора, создава го тилятором. Вода, тупающая на д зацию, распределяе по ению аппарата с по щью рас пределительной плиты, размещенной над насадкой на высоте 150 *мм* В плите укрепляют 48 патрубков для отвода воды, возвышающихся над поверхностью плиты на 100 *мм*, и 8 патрубков для выхода воздуха высот 400 *мм* Патрубки для выхода воздуха снабжаются отражательными колпаками Расстояние от распределительной плиты до ышки дегазатора принимается равным 0 *мм* Подвод воды и одится в центре крышки Диаметр трубы для отвода воздуха определяется, исходя из скорости движения воздуха в ней 5—6 *м/сек*.

В качестве насадки в дегазаторах применяют кольца Рашига 25×25×3 *мм* (ГОСТ 748—67), гравий и кокс Характеристика этих материалов приведена в табл 44

Таблица 44 *Характеристика насадок для дегазаторов*

Материал насадки	Средний размер в *мм*	Количество кусков в 1 *м*³	Удельная поверхность насадки в *м*²/*м*³	Вес насадки в *кг*/*м*³
Гравий круглый	42	14400	80,5	—
Кокс кусковой	43	14000	77,0	455
То же	41	12250	86,0	585
»	29	27700	110,0	660
»	24	64800	120,0	600
Кольца Рашига	25×25×3	64000	204,0	532
	35× 5×4		140,0	

Плотность орошения насадки водой при ают.

при глубоком удалении из воды свобод углекислоты или свободного сероводорода — 60 $м^3/м^2 \cdot ч$;

при частичном удалении свободной углекислоты для обезжелезивания воды — 90 $м^3/м^2 \cdot ч$;

Расход воздуха составляет в $м^3/м^3$ воды

при глубоком удалении свободной углекислоты	15
при глубоком удалении свободного сероводорода	12
При частичном удалении свободной углекислоты	4

При использовании в дегазаторах **хордовой** насадки плотность орошения принимают равной 40 $м^3/м^2 \cdot ч$ и расход воздуха — 20 $м^3/м^3$ воды Основные параметры таких дегазаторов приведены в табл 45 Опорой для щитов насадки служит постамент в виде кольца высотой 600 *мм*. Зазор между наружной поверхностью кольца и внутренней поверхностью корпуса дегазатора принимают равным 10 *мм* Щиты насадки разделяют по высоте деревянными кольцами или переплетами толщиной 50 *мм*

Таблица 45. *Основные параметры дегазаторов с деревянной насадкой*

Производительность в $м^3/ч$	Внутренний диаметр корпуса в *мм*	Размер досок насадки в *мм*	*Величина* зазоров между досками в ряду в *мм*	Площадь поверхности насадки в одном щите с учетом ребер жесткости в $м^2$	Средний эквивалентный диаметр насадки в *мм*
10	55	50×13	20	1,02	0,078
15	690	50×13	20	1,48	0,078
20	805	50×13	20	1,99	0,078
30	980	50×13	20	2,92	0,078
40	1130	50×13	20	3,85	0,078
50	1260	80×13	40	4,03	0,104
75	1550	80×13	40	6,16	0,104
100	1790	80×13	40	8,15	0,104
150	2190	80×13	40	12,01	0,104

Примечание. Одним щитом следует считать два ряда досок, скрепленных ребрами жесткости.

При расчете пленочных дегазаторов с противотоком воды и воздуха поверхность насадки F в $м^2$ определяют по уравнению

$$F = \frac{G}{K_{ж} \Delta C_{ср}}, \qquad (112)$$

где G — количество удаляемого газа из ды в *кг/ч*;

$\Delta C_{ср}$ — средняя движущаяся сила десор ии в $кг/м^3$;

$K_{ж}$ — общий коэффициент десорбции в *м/ч*

Количество удаленного газа G в *кг/ч* определяют на основании исходных данных по формуле

$$G = \frac{q_{час} (C_{вх} - C_{вых})}{1000}, \qquad (113)$$

где $q_{час}$ — расход воды в $м^3/ч$;

$C_{вх}$ — концентрация газа в исходной воде в *мг/л*;

$C_{вых}$ — остаточная концентрация газа в воде после дегазатора в *мг/л*.

Значение средней движущей силы десорбции $\Delta C_{ср}$ зависит от содержания удаляемого газа в воде и воздухе Учитывая, что равновесная концентрация удаляемого газа в воде определяется его концентрацией в воздухе, величину $\Delta C_{ср}$ в $г/м^3$ можно вычислить, используя формулу

$$\Delta C_{ср} = \frac{(C_{вх} - C_{р\,вх}) - (C_{вых} - C_{р\,вых})}{2{,}31 \lg \frac{C_{вх} - C_{р\,вых}}{C_{вых} - C_{р.вх}}}, \qquad (114)$$

где $C_{р.вх}$ и $C_{р.вых}$ — равновесные концентрации удаляемого газа в воде при входе ее в дегазатор и при выходе в $г/м^3$

При проектировании обычно остаточное содержание газов в $г/м^3$ в воде ($C_{вых}$) после различного типа дегазаторов принимают в пределах:

Углекислота	3 — 10
Кислород	0,01—0,5
Сероводород	0,1

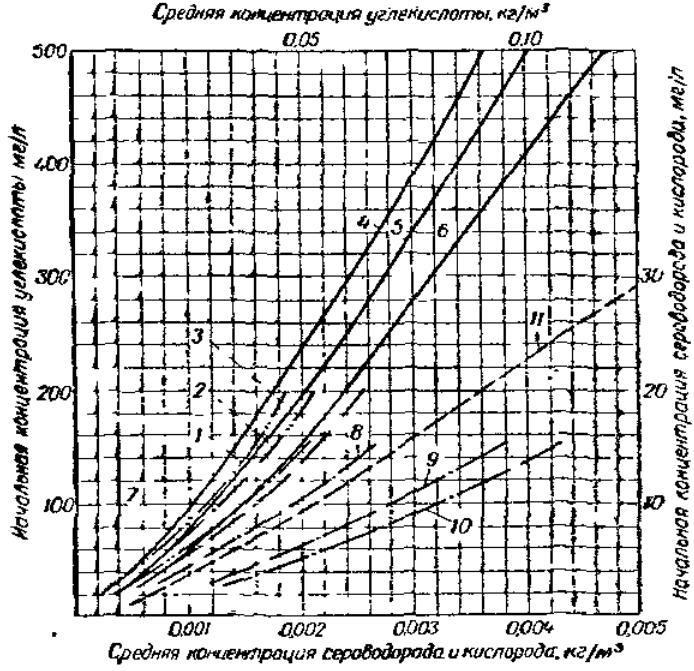


Рис. 87. График для определения средней движущей силы десорбции.

1 — $C_{вых}$=3 *мг/л*; *2* — $C_{вых}$=5 *мг/л*, *3* — $C_{вых}$=10 *мг/л*, *4* — $C_{вых}$ =3 *мг/л* *5* — $C_{вых}$ =5 *мг/л*, *6* — $C_{вых}$=10 *мг/л*, *7* — $C_{вых}$=0,01 *мг/л*, *8* — $C_{вых}$ =0,5 *мг/л*, *9* — $C_{вых}$=0,1 *мг/л*; *10* — $C_{вых}$=0,5 *мг/л*, *II* — $C_{вых}$ =0,1 *мг/л*.

Условные обозначения.

——— *Удаление углекислоты в пленочных дегазаторах;*
— — — — Удаление сероводорода в пленочных дегазаторах;
– – – – Удаление кислорода в вакуумных дегазаторах;
— · — · Удаление углекислоты в вакуумных дегазаторах.

Расчеты концентрации газов в исходной воде ($C_{вх}$) приведены в главах XII, XIII, XV, где описаны процессы, в которых используются дегазаторы.

Для упрощения расчетов величины $\Delta C_{ср}$ целесообразно пользоваться данными графиков, приведенных на рис. 87. При частичном

удалении углекислоты в процессе обезжелезивания $\Delta C_{ср}$ находят, используя зависимость

$$\Delta C_{ср} = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{2{,}3 \lg \frac{C_{вх}}{C_{опт}}}. \qquad (115)$$

Значение коэффициента десорбции $K_ж$ через жидкостный пограничный слой, в основном оказывающий сопротивление массопередаче, зависит от относительной скорости воды и воздуха в аппарате, температуры и коэффициента диффузии удаляемого газа. Его величину для разных типов десорберов, интенсивностей орошения и температур находят, используя графики, приведенные на рис. 88. В случае удаления сероводорода, величину $K_ж$ вычисляют по формуле

$$K_ж = \frac{1 \cdot 760}{S_{H_2S} \cdot 50{,}7 + \frac{109{,}9}{f \quad 0{,}324}}, \qquad (116)$$

где f — площадь поперечного сечения дегазатора в $м^2$;

S_{H_2S} — растворимость сероводорода в воде в $кг/м^3 \cdot атм$.

При данной температуре и парциальном давлении 1 *ат* ее величина может быть определена из следующих данных

t°C	15	20	25
S_{H_2S}	5,95	4,45	3,45

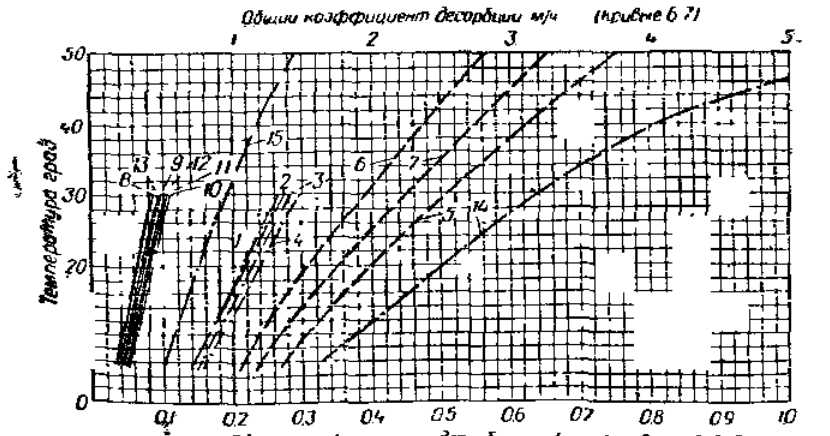


Рис. 88. График определения общего коэффициента десорбции

1, 11 — с коксом (41 *мм*) *2 10* — с коксом (43 *мм*) *3, 9* — с гравием (42 *мм*), *4 5 8* — с кольцами Рашига, *6* — с деревянной хордовой насадкой d=0,078 *см*, *7* — с деревянной хордовой насадкой d=0,101 *м*, *12* — с коксом (29 *мм*), *13* — с коксом (24 *мм*); *14* — кислорода, *15* — углекислоты

Условные обозначения

———— удаление углекислоты в контактных градирнях,

— — — — глубокое удаление углекислоты в пленочных дегазаторах,

— — — — удаление газов в вакуумных дегазаторах,

— · — · — частичное удаление углекислоты в пленочных дегазаторах.

каждую секцию Высота воздушного пространства над слоем воды в секциях должна быть не менее 0,5 *м*. Для подачи воздуха используются воздуходувки РМК-1 и РМК-2 Диаметры воздухоподводящих и воздухоотводящих трубопроводов определяются, исходя из скорости воздуха 7—10 *м/сек*. Воздухораспределительную плиту *изготовляют из винипласта или органического стекла, диаметр от-*

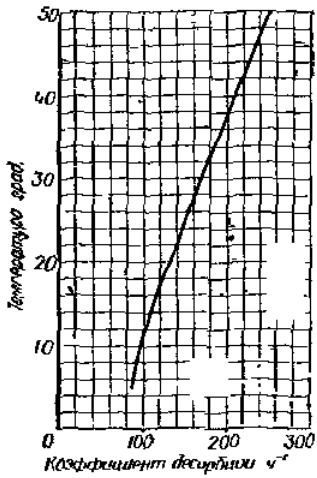
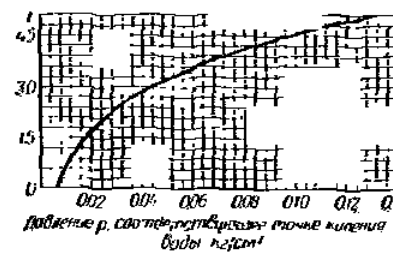


Рис 90 *График для определения коэффициента десорбции в барботажных дегазаторах.*

Рис 91 График зависимости температуры кипения воды от давления



верстий для прохода воздуха равен 2 *мм*, шаг отверстий — 10 *мм*. У отверстия для выхода воздуха из дегазатора устраивается отражательный щиток. Для разбрызгивания воды применяют дырчатые стаканы с заглушенным дном Диаметр отверстий в них для прохода воды 10 *мм* Суммарная площадь отверстий для разбрызгивания воды должна равняться половине сечения подводящего трубопровода Расход воды на единицу площади барботажного дегазатора принимают равным 60 $м^3/м^2 \cdot ч$ Удельный расход воздуха при *барботаже 10* $м^3/м^3$ воды Основные параметры барботажных дегазаторов приведены в табл. 46

Таблица 46. *Расчетные данные для барботажных* ...ров

Производительность дегазатора в $м^3/ч$	Площадь поперечного сечения в $м^2$	Внутренний размер дегазаторов в плане в *мм*	Количество отверстий диаметром 2 *мм* на воздухораспределительной плите
5	0,083	290×290	830
10	0,167	410×410	1670
15	0,250	500×500	2500
20	0,333	580×580	3330

В случае применения в дегазаторе деревянной хордовой насадки внутренняя его поверхность также принимает участие в развитии [illegible] фаз Эта повер[illegible]ь составляет приме[illegible]о 7,5% [illegible] асадки Поэтому к[illegible]ство щитов насадк[illegible] находят путем деления площади насадки, которую принимают равной F (1—0,075), на площадь по[illegible]хности одного щита. Высота рабочей части дегазатора в *мм* определяется по уравнению

$$H_{\text{н}} = 2n\,(h + \delta) - h, \qquad (117)$$

где n — количество щитов насадки;

h — высота между рядами досок и между щитами в *мм*;

δ — толщина досок насадки в *мм*

Производительность вентилятора рассчитывают, исходя из приведенных выше удельных расходов воздуха. Необходимый напор определяют, учитывая следующие его потери в насадке из колец Рашига — 30 *мм вод ст.* на 1 *м* высоты слоя при глубоком удалении углекислоты и 15 *мм вод ст.* на 1 *м* высоты слоя при частичном удалении углекислоты; в насадке деревянной, хордовой — 10 *мм* на 1 *м* высоты дегазатора; в распределительной плите — 10 *мм вод ст*; в ра[illegible]чных местных сопр[illegible]явлениях примерно 15—20 *мм вод ст*

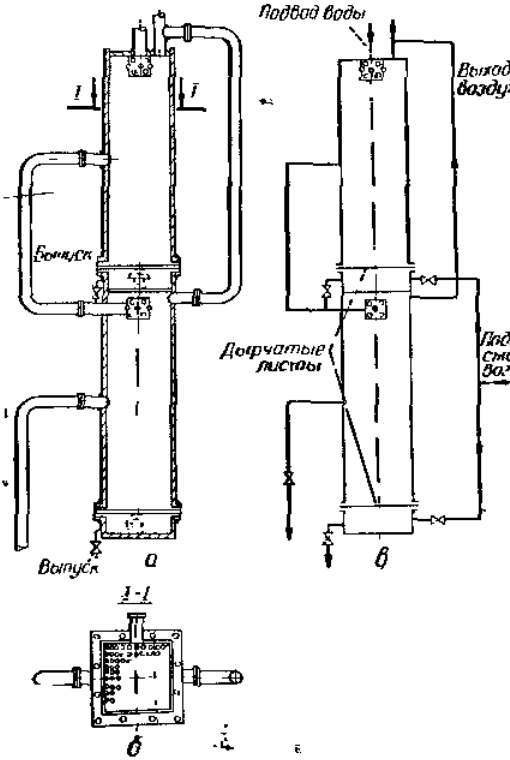


Рис 89 Схема барботажного дегазатора
а — разрез, *б* — план, *в* — схема

Дегазаторы барботажного типа в зависимости от остаточной концентрации удаляемого газа могут быть односекционными или двух[illegible]ционными (рис.). В последнем случае вода проходит последовательно через обе секции, расположенные одна над другой Необходимый объем рабочей части дегазатора при этом делится поровну между секциями Воздух, поступающий в дегазатор, так же разделяется на два равных потока и поступает параллельно в

Рабочий объем дегазаторов барботажного типа W в $м^3$ определяют по формуле

$$W = \frac{G}{K_0 \Delta C_{ср}}, \qquad (118)$$

где K_0 — коэффициент десорбции, отнесенный к единице объема в $1/ч$, значение его находят из графика, приведенного на рис. 90. Величины G и $\Delta C_{ср}$ находят по формулам (113) и (114).

Вакуумные дегазаторы позволяют значительно интенсифицировать и повысить эффективность удаления газов из воды Различают вакуумные дегазаторы без подогрева и с подогревом воды. Последние применяют в тех случаях, когда необходима глубокая дегазация, а вакуумное устройство не обеспечивает понижения давления до такого, которое соответствует точке кипения воды при данной температуре или близкое к нему (рис. 91).

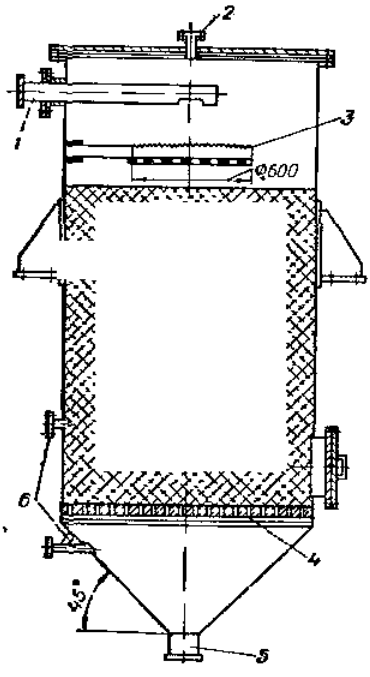


Рис. 92 Вакуумный дегазатор:
1 — подача воды *2* — отсос газов *3* — распределительная тарелка *4* — насадка *5* — отвод дегазаторной воды *6* — место установки водомерного стекла.

Для свободного вытекания воды из вакуумных дегазаторов (рис 92) их устанавливают над сборным резервуаром на такой высоте, чтобы давление воды в отводящем трубопроводе превышало величину вакуума в аппарате Уменьшить эту высоту можно за счет отсасывания воды насосом.

Площадь поперечного сечения вакуумных дегазаторов определяют, принимая плотность орошения насадки 50 $м^3/м^2 \cdot ч$. Их загружают кольцами Рашига или деревянной насадкой Поверхность загрузки определяется по формуле (112) Входящие в эту формулу величины G — по уравнению (113); $\Delta C_{ср}$; $K_ж$ — из графиков, приведенных на рис. 87 и 88

Производительность вакуумного устройства для отсоса паро-газовой смеси V в $м^3/ч$ вычисляют, используя следующие зависимости:

при удалении из воды кислорода

$$V = \frac{G_к (273 + t)}{377 p_к}; \qquad (119)$$

при удалении из воды углекислоты

$$V = \frac{G_у (273 + t)}{520 p_у}, \qquad (120)$$

где $G_к$ и $G_у$ — количества кислорода или углекислоты, удаляемые из воды в *кг/ч*; вычисляются они по формуле (113);

t — температура воды в °С;

$p_к$ и $p_у$ — парциальные равновесные давления кислорода и углекислоты в воде, выходящей из дегазатора, в *атм*.

Последние величины подсчитываются на основании формулы

$$p = \frac{C_{вых}}{S} \; am, \qquad (121)$$

где S — растворимость кислорода или углекислоты в воде в *г/м³ ат* при данной температуре и парциальном давлении газа 1 *ат*

Рассчитанный по формулам (119), (120) объем парогазовой смеси приводится к нормальным условиям (t=0°С и p=1 *ат*) по уравнению

$$V_0 \quad \frac{V_0 p}{1 + 0{,}00366 \; t} \; м^3/ч, \qquad (122)$$

где p давление парогазовой смеси при температуре в дегазаторе.

Химические методы дегазации воды, основанные на специфических реакциях, изложены в § 57, 58, 61, 63

§ 57. Удаление из воды сероводорода

Сероводород и его соединения встречаются в некоторых грунтовых водах, а также в поверхностных водах при загрязнении их омстоками Водный раствор сероводорода представляет собой слабую кислоту Поэтому в зависимости от pH воды в ней могут содержаться сероводород (H_2S), гидросульфидные (HS^-) или сульфидные (S^{2-}) ионы При pH<5 в воде находится только сероводород, его присутствие по характерному неприятному запаху тухлых яиц обнаруживается даже если концентрация равна 0,5 *мг/л* При pH>9 в воде содержатся в основном ионы HS^- и S^{2-}, поэтому запах становится мало заметным даже при значительных концентрациях сульфидов Сероводород — токсичный газ, предельно допустимая концентрация его в воздухе равна 0,01 *г/м³* В связи с этим в помещениях станций обработки воды, где возможно выделение сероводорода, предусматривается вентиляция с 12—15-кратным обменом воздуха, а при больших его концентрациях предпринимаются также мероприятия, устраняющие загрязнение окружающей атмосферы

Для обработки воды, содержащей сероводород и гидросульфиды, применяют следующие методы. хлорирование; аэрацию с последующим хлорированием; подкисление, аэрацию, осветление коагуляцией и фильтрованием; имеются также разработки по удалению сероводорода гидроокисью железа, а также окислению его серобактериями [117—121].

При *хлорировании воды,* содержащей сероводород и гидросульфиды, протекают следующие реакции.

1. $H_2S + Cl_2 = S + 2Cl^- + 2H^+$; $HS^- + Cl_2 = S + 2Cl^- + H^+$
2. $H_2S + 4Cl_2 + 4H_2O = SO_4^{2-} + 8Cl^- + 8H^+$;

$HS^- + 4Cl_2 + 4H_2O = SO_4^{2-} + 8Cl^- + 9H^+$

В первом случае продуктами реакции является сера в коллоидном состоянии и соляная кислота, нейтрализирующаяся бикарбонатами природных вод Расход хлора составляет 2,1 *мг* на 1 *мг* сероводорода, принимая, что 1 *мг* гидросульфидных ионов соответствует 1 *мг* сероводорода Во втором случае окисление протекает до серной кислоты с образованием соляной кислоты, эти кислоты также связывают щелочной резерв воды Расход хлора в последней реакции равен 8,4 *мг* на 1 *мг* сероводорода.

При расчете общего расхода хлора следует учитывать его потери на окисление других содержащихся в воде соединений При отсутствии таких данных дополнительный расход хлора принимают в пределах 2—3 *мг/л* сверх количества, необходимого для окисления сероводорода.

Следует отметить, что при обработке воды малыми дозами хлора образуется сера в количестве, примерно равном концентрации в воде сероводорода Если при этом окажется, что содержание взвешенных веществ (сера) превышает нормы, допустимые для хозяйственно питьевой воды, то необходимо предусматривать их удаление с помощью коагулянтами Дозу коагулянта рассчитывают по формулам, приведенным в гл. III В связи с малой мутностью исходной воды на станциях обработки сероводородсодержащих вод вместо обычно применять отстойники или осветлители Удаление из воды взвешенных веществ производят на фильтрах, которые рассчитывают по формулам, приведенным в гл. VII

Расход хлора на обработку воды, содержащей сероводород, может быть снижен, если перед хлорированием воду, имеющую pH<7,2, подвергать аэрации При этом наряду с десорбцией сероводорода происходит его частичное окисление кислородом воздуха по уравнению:

$$2H_2S + O_2 = S + 2H_2O$$

В небольшой степени процесс окисления продолжается до образования тиосульфатов ($S_2O_3^{2-}$) При содержании сероводорода в воде в пределах 2—3 *мг/л,* без дополнительной обработки серной кислотой для снижения pH, остаточная концентрация сероводорода после аэрации может быть доведена до 0,3—0,4 *мг/л* Применяя в дальнейшем хлорирование воды дозами, обеспечивающими окисление сероводорода до сульфатов, получают воду, отвечающую нормам ГОСТ, без коагуляции и фильтрования В большинстве случаев аэрацией удаляется от 20 до 30% содержащегося в воде сероводорода и соответственно уменьшается расход хлора.

Аэрацию воды рекомендуется проводить в открытых (контактных) или вентиляторных градирнях (дегазаторах). В контактных градирнях, изображенных на рис 93, в качестве насадки применяют куски кокса, щебенка, гравия и др крупностью 30—50 *мм*; высота одного слоя — 300—400 *мм*, при большей расчетной высоте делают 2,3 и больше слоев с промежутками между ними 600 *мм*. Распределение воды по площади насадки осуществляется системой дырчатых труб.

При проектировании открытых градирень площадь их определяют, принимая нагрузку 15 $м^3/м^2 \cdot ч$. Если концентрация сероводорода в исходной воде не превышает 5 *мг/л*, то градирню

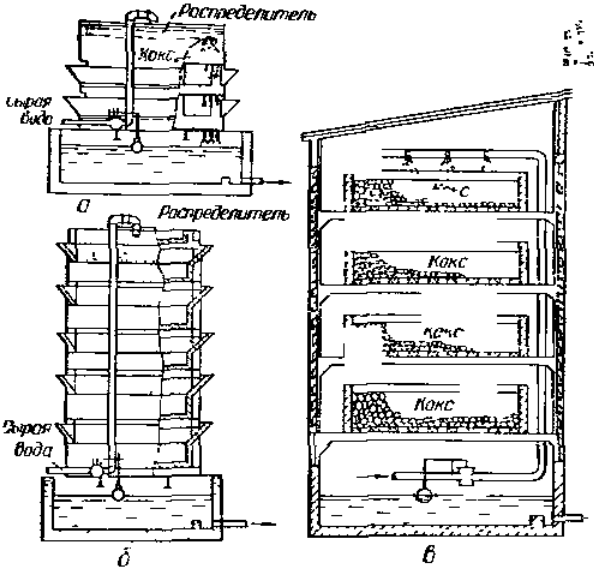


Рис. 93 Схема устройства контактных градирен различной производительности
а — малой *б* — средней, *в* — большой.

оборудуют тремя слоями насадки; при содержании его до 10 *мг/л* — пятью слоями Как уже отмечалось, помещение градирни обеспечивается 12 кратным воздухообменом.

Наиболее перспективно использование для аэрации сероводородсодержащей воды компактных, интенсивно работающих вентиляторных градирень (дегазаторов) с загрузкой из колец Рашига 25×25×3 *мм* или с деревянной хордовой насадкой (см рис 85) Использование таких градирень позволяет отводить загрязненный сероводородом воздух в поглотитель или через высокую трубу в атмосферу В этом заключается преимущество указанных градирень. При аэрировании воды выделяется сера, а при выдувании равновесной углекислоты может образоваться и карбонат кальция Эти вещества отлагаются на насадке, увеличивая ее сопротивление потоку воздуха и воды Поэтому для вод с карбонатной жесткостью более 3 *мг-экв/л* предпочтительнее применять в вентиляторных градирнях деревянную хордовую насадку, с которой осадки легче смываются

Рассчитывая площади поперечного сечения дегазаторов, принимают: нагрузку для дегазаторов с кольцами Рашига равной 40 $м^3/м^2 \cdot ч$, расход воздуха — 20 $м^3$ на 1 $м^3$ воды, нагрузку для де-

газоторов с деревянной хордовой насадкой — 30 $м^3/м^2 \cdot ч$, расход воздуха — 15 $м^3$ на 1 $м^3$ воды.

Необходимую поверхность насадки можно вычислить, используя формулу (112); величину $\Delta C_{ср}$ определяют из графика, приведенного на рис. 87, значение $K_ж$ находят по формуле (116). Обычно при содержании сероводорода в воде до 10 *мг/л* принимают высоту

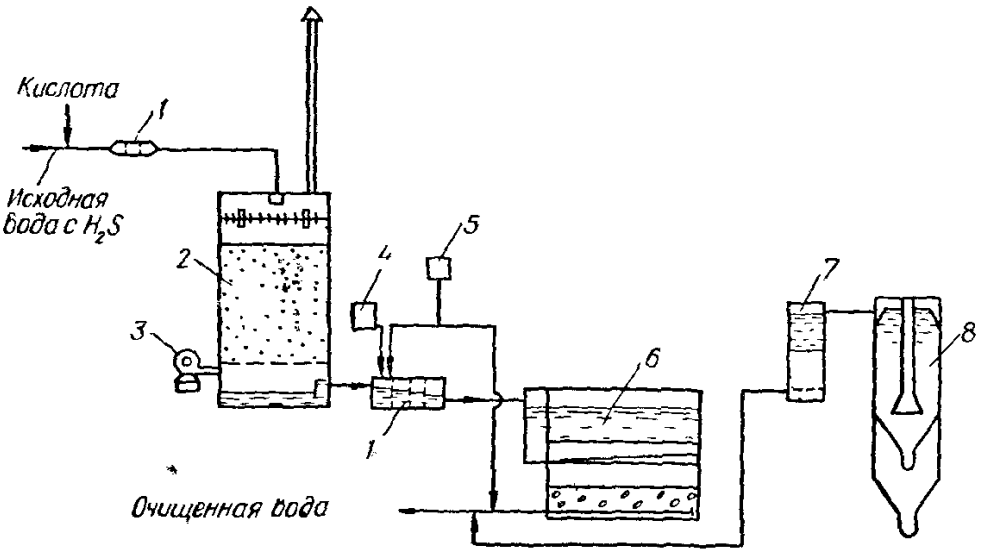


Рис. 94. Схема установки для удаления из воды сероводорода аэрацией с подкислением:

1 — смеситель; *2* — дегазатор; *3* — вентилятор; *4* — подача коагулянта; *5* — хлоратор; *6* — фильтр; *7* — фильтр для известкового раствора; *8* — сатуратор двойного насыщения.

слоя колец Рашига в дегазаторе равную 2 *м*, а при содержании сероводорода до 20 *мг/л* — 3 *м*; высоту деревянной хордовой насадки принимают на 1 *м* больше, чем для колец Рашига.

При обработке воды, содержащей сероводород и гидросульфиды, по методу *подкисления* предусматривают:

подкисление воды до pH=5—5,5 серной или соляной кислотами;

аэрацию ее в вентиляторных градирнях (дегазаторах);

хлорирование воды для окисления оставшегося сероводорода;

коагулирование образовавшейся коллоидной серы с последующим фильтрованием воды.

Схема установки для удаления сероводорода из воды по этому методу приведена на рис. 94.

Для понижения pH воды до 5—5,5 необходимо кислотой разложить практически полностью все бикарбонаты, в связи с чем доза кислоты $Д_к$ в *мг/л* будет равна

$$Д_к = Щe \cdot \frac{100}{C_к}, \qquad (123)$$

где $Щ$ — щелочность воды в *мг-экв/л*;

e — эквивалентный вес кислоты;

$C_к$ — содержание серной или соляной кислоты в техническом продукте в проц.

Как уже отмечалось, при понижении pH воды до 5 переводят все сульфиды в слабо диссоциированный в водных растворах сероводород, что благоприятствует более полному удалению его при аэрации.

Расчет оборудования кислотного хозяйства станций обработки воды приведен в гл. XIII (см. стр. 286). При проектировании аэрационных установок руководствуются рекомендациями, приведенными выше. Для окисления оставшегося в воде после аэрации сероводорода проводят ее хлорирование; доза хлора применяется в пределах 4—5 *мг/л*. Расчет оборудования хлораторной приведен в гл. X (см. стр. 208—212).

Коллоидную серу, образовавшуюся в воде при окислении сероводорода, удаляют при помощи коагулянтов. Расчет их дозировок и необходимого оборудования реагентного хозяйства приведен в гл. III (см. стр. 71—79). Воду после коагуляции осветляют на фильтрах, их расчет производят по формулам, которые даны в гл. VII (см. стр. 158—161).

Очищенная по описанному методу «подкисление—аэрация—хлорирование—осветление» вода обязательно подвергается стабилизационной обработке для устранения коррозионной активности. Описание стабилизации воды подщелачиванием дано в гл. XII (см. стр. 250—253).

Имеются разработки по окислению сероводорода и сульфидов кислородом воздуха при добавке в воду катализаторов [122]. Установлено, что в присутствии пиролюзита или черного песка [1] окисление сероводорода в воде при аэрации протекает практически полностью без всякого подкисления с образованием серы и тиосульфата.

Для очистки выходящего из дегазаторов воздуха от сероводорода можно применять активированный уголь с последующей его регенерацией раствором сульфида аммония.

§ 58. Удаление из воды кислорода

Обескислороживание воды производится при потреблении ее для питания котлов, горячего водоснабжения и некоторых производственных процессов.

Удаление из воды растворенного кислорода без ее подогрева производится [10]:

физическими методами — путем разбрызгивания воды в вакууме, соответствующем точке кипения воды при данной температуре;

химическими методами — путем обработки воды различными восстановителями.

Описание вакуумных дегазаторов и формулы для их расчета приведены в § 56 настоящей главы. При расчете площади поперечного сечения таких дегазаторов с загрузкой кольцами Рашига

[1] Пиролюзит — природная двуокись марганца; черный песок — кварцевый песок, покрытый двуокисью марганца при обработке перманганатом калия.

25×25×3 *мм* принимают нагрузку по воде 50 $м^3/м^2 \cdot ч$. Поверхность насадки определяют по формуле (112). Входящие в нее величины $\Delta C_{ср}$ и $K_ж$ находят из графиков, приведенных соответственно на рис. 87 и 88, значение G в *кг/ч* вычисляют по формуле

$$G = 0.001 \cdot q ([O_2]_{нач} - [O_2]_{кон}), \quad (124)$$

где $[O_2]_{нач}$ и $[O_2]_{кон}$ — начальная и конечная концентрации кислорода в воде в $г/м^3$.

Определив необходимую поверхность насадки и зная ее удельную поверхность (см. табл. 44), находят объем и высоту слоя насадки в дегазаторе.

При [illegible] концентрации кислорода в воде после вакуумного дегазатора 0,1 *мг/л* для нахождения объема насадки можно использовать данные табл. 47.

Таблица 47. *Объем насадки из колец Рашига в вакуумном дегазаторе*

Содержание в исходной воде кислорода в *мг/л*	Объем насадки в $м^3$ на 1 $м^3$ часовой производительности при температуре в °С				
	5	10	15	20	30
5	0,068	0,053	0,045	0,040	0,032
10	0,074	0,059	0,050	0,045	0,035
12	0,080	0,063	0,058	0,050	0,045

Расчет вакуумирующих устройств (вакуум-насос, паро- или водоструйный эжектор), обеспечивающих отсос парогазовой смеси из дегазатора, также [illegible]ен в § 56.

В качестве восстановителей при химическом обескислороживании воды применяют сульфит натрия (Na_2SO_3), гипосульфит натрия ($Na_2S_2O_3$), сернистый газ (SO_2), гидразин (N_2H_4) и др., часто для удаления из воды кислорода используют сталестружечные фильтры.

Окислительно-восстановительные реакции, протекающие при добавлении в воду этих веществ, можно изобразить следующими уравнениями:

$$2Na_2SO_3 + O_2 = 2Na_2SO_4;$$

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3, \quad 2H_2SO_3 - O_2 = 2H_2SO_4,$$

$$N_2H_4 + O_2 = N_2 + H_2O \text{ и т. д.}$$

При 10%-ном избытке доза реагентов восстановителей $Д_в$ в *мг/л* равна

$$Д_в = 1{,}1\beta [O_2], \quad (125)$$

где $[O_2]$ — концентрация растворенного в воде кислорода в *мг/л*;

β — стехиометрический расход реагента в *мг* на 1 *мг* O_2 в расчете на 6[illegible]ный продукт, для сульфита натрия — 7,9, сернистого газа — 4, гидразина — 1 (обычно его берут больше в 1,5 раза).

Дозируют сульфит [illegible]осульфит натрия, предварительно приготовив из этих кристаллических веществ 3—5%-ные растворы; сер-

нистый газ из баллонов подают в воду через газодозатор — аппарат типа хлоратора (см. стр. 199). Гидразин поступает в виде %-ного водного раствора гидразингидрата (при большей концентрации он огнеопасен), перед употреблением его разбавляют до % (pH раствора >9). Наиболее перспективным из перечисленных реагентов является гидразин, не денатурирующий воду.

Для ускорения описанных выше реакций, сильно замедляющихся при понижении температуры, в воду добавляют катализаторы — соли меди, кобальта, а также двуокись марганца. Соли меди и кобальта дозируют в виде 0,01%-ных растворов, которые подают в воду до ввода в нее восстановителей. Дозы катализаторов принимают следующие: Cu — 1 *мг/л* или Co — 0,001 *мг/л*.

Смешение реагентов-восстановителей с водой производят в герметически закрытом смесителе, рассчитанном на пребывание в нем воды в т 5 и

Обесс жи щее действие при фильтровании воды через сталестружечные фильтры, широко распространенные при горячем водоснабжении, основано на реакции:

$$3Fe + 2O_2 = Fe_3O_4.$$

Такие фильтры оборудуют, засыпая описанные в гл. VII напорные фильтры стружкой из обычной нелегированной стали, предварительно промыв ее раствором щелочи и горячей водой. На 1 *кг* удаляемого из воды кислорода необходимо иметь около 5 *кг* стружки; считая, что насыпной вес стружек примерно составляет 1 *т/м*³, объем стружки V в *м*³ находят по формуле

$$V = 5 \cdot 10^{-4} qC_к T, \qquad (126)$$

где q — расход воды в *м*³/*ч*;

$C_к$ — концентрация кислорода в воде в *мг/л*,

T — число часов работы фильтров в период между заменой стружки, обычно стружку заменяют через 6—12 месяцев.

Площадь поперечного сечения фильтров рассчитывают для скоростей фильтрования 25—100 *м/ч*, обеспечивая время контакта воды со стружкой при заданной высоте ее слоя в пределах 1,5—2 *мин*. Поступающая на фильтры вода должна быть предварительно умягчена (жесткость $\leq 0,$ *мг-экв/л*), иметь pH >10 и температуру 75—100°C. Во избежание загрязнения воды железом ее фильтруют через слой гранулированной магнезии или мраморной крошки (см. гл. XII стр. 255).

В настоящее время разработаны, но не получили широкого распространения методы обескислороживания воды путем фильтрования ее через редоксониты, а также посредством электролиза со стальными электродами [10].

§ 59. Примеры расчетов по дегазации воды

Пример 1. Для водопроводной станции производительностью 2400 *м*³/*сутки* (100 *м*³/*ч*) необходимо подобрать дегазатор для удаления из воды свободного сероводорода. Содержание в воде суль-

фидных соединений — 20 *мг/л*; pH — 6,0, температура исходной воды 15°С; $C_{вых}$ =0,1 *мг/л* Сод жание свободного сероводорода в воде при pH=6 равно $C_{вх}$ = .,3 *мг/л*.

Площадь поперечного сечения дегазатора $f = 100 \quad 60 = 1{,}67$ *м*²

Количество удаляемого газа G в *кг/ч* определяем по формуле (113)

$$G = \frac{100 \quad (18.8 \quad - 0{,}1)}{1000} = 1.87 \text{ кг ч.}$$

Величину коэффициента десорбции ($K_ж$) вычисляем по формуле (116)

$$K_ж = \frac{1 \cdot 760}{5{,}95 \quad 50{,}7 + \frac{109{,}9}{1{,}18}} = 1{,}93 \text{ м ч}$$

$$S_{Ц_2S} = 5{,}95 \text{ кг м}^3, \quad f^{0{,}555} = 1.18$$

Необходимая поверхность насадки вычисляется по формуле (112)

$$F = \frac{1{,}87}{1{,}93 \quad 0{,}0034} \cong 285 \text{ м}^2;$$

$\Delta C_{ср}$ =0,0034 *кг/м*³ (определяется из графика, см рис 87).

Объем колец Рашига размером 35×35×4 *мм*

$$W = 285 : 140 \cong 2 \text{ м}^3,$$

140 — поверхность насадки *м*²/*м*³

Высота загрузки

$$h \quad \frac{W}{f} \quad \frac{2}{1{,}67} = 1{,}2 \text{ м.}$$

Внутренний диаметр дегазатора 1460 *мм*.

Необходимый расход воздуха 1500 *м*³/*ч* (см. стр 232).

Пример 2. Для водоп ной станции производительностью 1800 *м*³/*сутки* (75 *м*³/*ч*) необходимо рассчитать вакуумный дегазатор для удаления из воды свободного кислорода.

Содерж е в воде кислорода $C_{вх}$ =10 *мг/л*, $C_{вых}$ =0,01; $t_{расч}$ =30° (с подогревом).

Насадка — ко Рашига 25×25×3 *мм*

Площадь попе го сечения дегазатора определяем, принимая плотность орошения насадки 50 *м*³/*м*².

$$f = \frac{g_ч}{50} = \frac{75}{50} = 1.5 \text{ м}^2.$$

По уравнению (113) находим количество удаляемого газа

$$G = \frac{75 \quad (10 - 0{,}01)}{1000} = 0{,}749 \text{ кг/ч};$$

$\Delta C_{ср}$ =0,0014 *кг/м*³ (по графику, см рис 87),

$K_ж$=0,6 *м/ч* (по графику, см рис. 88).

Тогда поверхность насадки по формуле (112) будет равна

$$F = \frac{0{,}749}{0{,}6 \cdot 0{,}0014} = 892 \ м^2$$

Объем насадки $W = F \cdot 204 = 892 \cdot 204 = 4{,}37 \ м^2$, высота загрузки насадки $h = 4{,}37 : 1{,}5 = 2{,}9 \ м$.

ГЛАВА XII

СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ

§ 60. Стабильность воды и ее определение

Стабильность воды является одним из основных показателей ее качества. Стабильной называется вода, которая при длительном контакте с металлическими и бетонными поверхностями не изменяет своего состава. По ГОСТ 3313—46 стабильной считается вода, которая не выделяет и не растворяет карбонат кальция. Стандартом предусмотрен критерий для характеристики различных вод, так называемый показатель стабильности

$$C_1 = Щ_{исх} / Щ_{нас}; \quad C_2 = pH_{исх} \cdot pH_{нас}; \qquad (127)$$

или индекс стабильности

$$I = pH_0 - pH_s, \qquad (128)$$

где $Щ_{и}$ и $pH_{исх} = pH_0$ — щелочность и pH воды в естественном состоянии,

$Щ_{нас}$ и $pH_{нас}$ — щелочность и pH воды после встряхивания ее с осажденным карбонатом кальция.

Значение pH_s определяют путем расчетов на основании данных анализа воды по формуле [123]

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) \quad f_4(P), \qquad (129)$$

где $f_1(t)$, $f_2(Ca^{2+})$, $f_3(Щ)$, $f_4(P)$ — величины, зависящие соответственно от температуры воды, содержания в ней кальция, щелочности воды и общего солесодержания воды. При вычислении значений этих величин пользуются номограммой, приведенной на рис. 95.

При значениях C_1 и C_2, равных 1, а также при $I = 0$ вода стабильна. Если C_1 или $C_2 < 1$, а I имеет отрицательное значение, вода агрессивна. В случаях, когда C_1 или $C_2 > 1$, а I имеет положительное значение, вода склонна к отложению карбоната кальция.

При использовании вод открытых водоемов для водоснабжения требуется применять повышенные дозы реагентов. Это неизбежно усиливает их коррозионные свойства, поэтому, протекая по разветвленной сети трубопроводов, вода изменяет свой состав, насыщаясь веществами, ухудшающими ее органолептические качества. Уве-

личение агрессивного действия воды при очистке объясняется нарушением в ней углекисл ого равновесия, так как при добавлении в воду 1 *мг* серноки.ю о алюминия или хлорного железа выделяется ~ 0,8 *мг* сво ной угле лоты за счет разложения бикарбонатов Вода становится нестабильной, т е спосо й растворять защитные пленки на внутренней поверхности трубопроводов

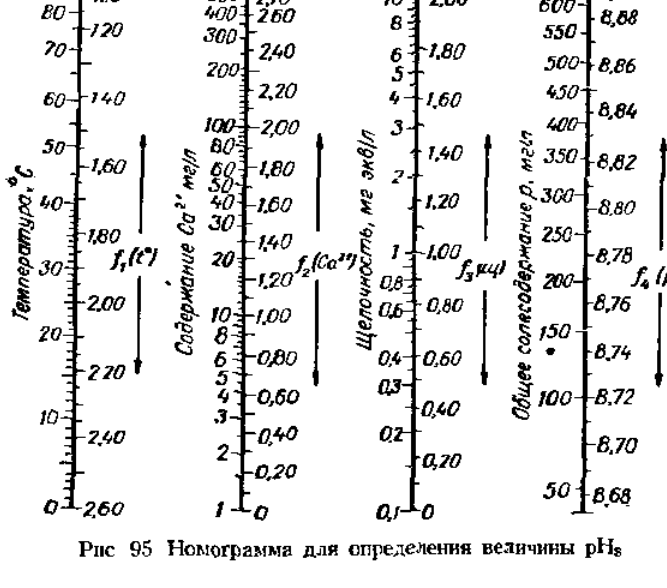


Рис 95 Номограмма для определения величины pH_s

в результате появления в ней агрессивной углекислоты[1] При оголении поверхности трубопровод усиливается электрохимическая коррозия, которой благоприятст т растворенный в воде кислород Вода обог ается продуктами коррозии, обусловливающими у худшение ее качественных показателей [124]. При оценке агрессивного действия воды на железобетонные конструкции необходимо руководствоваться специальными нормативными документами, например, «Ука и по ектир ию антикоррозийной защиты строитель струк й» (СН 2).

При подсчете декса насыщения для вод после обработки их минеральными к улянтами ве ина pH воды после коагуляции определяется по ..мограмме, ..риведенной на рис 96, исходя из значений температуры, общего солесодержания и щелочности воды,

[1] На ащаяся в воде углекислота подразделяется на связанную (углекислота, вход я в состав карбонатных и бикарбонатных ионов) и несвязанную, или своб ю. Пос ия зел на ра ю угле оту, обус ива ю усто ость в твореи к онатов и бонатов ция и маг , и я *точную* — агрессивную углекислоту, способную реагировать с вераст мыми в воде карбонатами кальция и магния переводя их в растворимые бика наты

а также концентрации в ней углекислоты. Последние величины могут быть вычислены по формулам

$$Щ = Щ_0 - \frac{Д_к}{e}, \qquad (130)$$

$$(CO_2) = (CO_2)_0 + 44\,\frac{Д_к}{e}, \qquad (131)$$

где $Щ_0$ и $Щ$ — соответственно щелочность воды до и после коагуляции в *мг-экв/л*;

(CO_2) и $(CO_2)_0$ — соответственно концентрация в воде углекислоты до и после коагуляции в *мг/л*;

$Д_к$ — доза коагулянта в пересчете на безводный продукт в *мг/л*,

e — эквивалентный вес безводного вещества коагулянта в *мг/мг-экв*.

Следует отметить, что при одновременной обработке воды коагулянтом и хлором в приведенных формулах необходимо учитывать также взаимодействие хлора с бикарбонатами воды, вычитая из

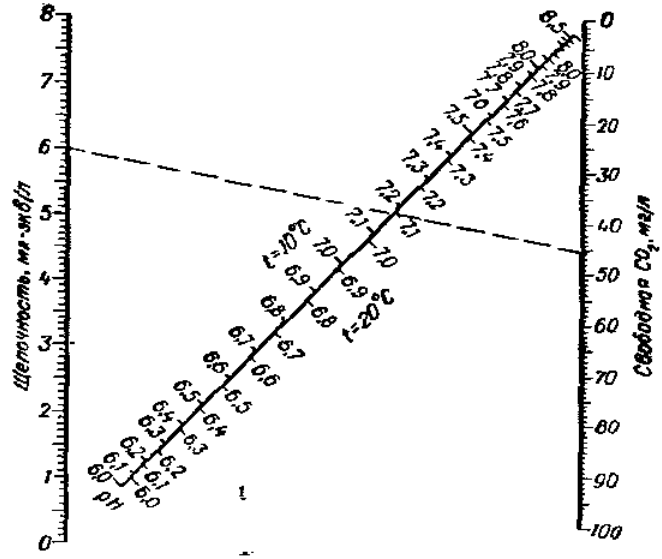


Рис 96. Номограмма для определения pH воды после коагуляции

найденных величин хлоропоглощаемость воды (ХП) в *мг-экв/л* для формулы (130) и добавляя 44 (ХП) для формулы (131)

При проектировании стабилизационной обработки воды необходимо учитывать данные эксплуатации других водопроводов на воде того же источника В случае отсутствия этих сведений стабилизационная обработка предусматривается

при отрицательном индексе насыщения в течение 8 месяцев в году,

при положительном индексе насыщения (больше +0,5) в течение 8—10 месяцев в году

Выбор метода стабилизации воды и реагентов для ее обработки определяется на основании технико экономических расчетов

§ 61. Стабилизационная обработка воды для предотвращения коррозии трубопроводов

Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе насыщ я ($J<0$) зак ается в подщелачивании воды или удалении уг слоты аэрированием в вентиляторном дегазаторе При этом предусматривается также создание ус й для обра я защитной ка нат пленки на внутренней поверхности труб

В качестве по ающих реагентов используют изве или соду Соду прим только в том случае, если в воде сод ат ионы кальци ко ество, достаточном для образования защитной пленк ка ция Ш очные ед ет а вать в оч у п д втор ым х и по п лением ее в рез уары чистой воды, в связи с чем необходимо обеспечить х е о раст ов реагентов Д ается введение ще р до отс ников или фил р , если это не ухудшает технологического процесса очистки воды и не сни жает э ективности ее стабилизационной об ботки В случае употре ия на очистных сооружениях автом ческих дозаторов для ра ора коагулянтов с кондуктометрическим ко олем необходимо предусматривать место ввода щелочных реагентов после отбора смешанной с коагулянтом воды в кондуктометрическую ячейку дозатора

При вводе в эксплуатацию водопроводной станции стабилизационная а воды осуе ся в два э а на первом этапе ьзуется для ания защит пленки в трубах, на втором этапе — для поддержания стабильного углекислотного ювесия в воде ($J=0$). Для создания на вну их повер х трубопроводов защитной пленки $CaCO_3$ в пер од пуска водопровода или о льных участков водопроводной сети дозировку щелочных реагентов уве ют, не переходя, однако, величины pH — 9,5, если вода упо ляется для питьевых целей. Такое увеличение подачи реагентов осуществляется в результате более частой заготовки растворов и увеличения их концентрации Для пол ия равно ой пленки карбоната кальция по длине трубоп ов ется чер вать пропускание по ним стабилизированной и нестабилизиро ной воды Аппаратура, используемая для приготов ов щелочных реагентов, а известкового раствора моя ть произведена на установке, состоящей из сатуратора и скорого ьтра, загру ного дробленым антрацитом или мр рной крошкой с круп тью зерен 0,5—1 *мм* и толщиной слоя 0, 0,8 м.

скорость фильтрования равна 5—6 *м/ч*, интенсивность промывки — 12—13 *л/м²·сек*.

При расчете доз щелочных реагентов для стабилизационной обработки воды возможны два случая, определяемые по значениям pH_0 — для исходной воды и pH_s — для воды с индексом стабильности $J=0$ [10]:

1) $pH_0 < pH_s < 8{,}4$; 2) $pH_0 > 8{,}4 > pH_s$.

Формулы для определения дозы подщелачивающих веществ $Д_ш$ в *мг-экв/л* в этих случаях соответственно следующие [10, 125]

$$Д_ш = \Delta Щ = \beta Щ_0 . \qquad (132)$$

$$Д_ш = \Delta Щ = [(\beta - \xi + \chi) Щ_0]. \qquad (133)$$

где $Щ_0$ — щелочность воды до стабилизационной обработки в *мг-экв/л*,

$\Delta Щ$ — увеличение щелочности воды, необходимое для стабилизации ее состава в *мг-экв/л*;

β — коэффициент, определяемый по значениям pH_0 и J из графика (рис 97);

χ и ξ — коэффициенты, определяемые по значениям pH_0 и pH_s соответственно (рис 98).

При стабилизационной обработке воды известью дозу ее проверяют по формуле

$$Д_и = 0{,}7 \cdot \left[\frac{(CO_2)_0}{22} + Щ_0 \right], \qquad (134)$$

где $Д_и$ — доза извести в *мг-экв/л*;

$(CO_2)_0$ — содержание углекислоты в исходной воде в *мг/л*.

Если $Д_ш > Д_и$, то в обрабатываемой воде недостаточное количество углекислотных соединений и поэтому одновременно с известью (доза $Д_и$) в воду необходимо вводить соду (доза $Д_с = Д_ш - Д_и$).

Как уже упоминалось, соду для стабилизационной обработки применяют при достаточном количестве в воде ионов кальция.

В периоды наращивания защитной пленки карбоната кальция на внутренней поверхности трубопроводов в обрабатываемой воде необходимо поддерживать индекс стабильности $J=+0{,}7$. Дозы щелочных реагентов $Д'_ш$ и $Д''_ш$ в *мг-экв/л* в этом случае рассчитывают по формулам [10]:

$$\text{при } pH_s < 7{,}7 \ldots Д'_ш = m_1 (CO_2)_0; \qquad (135)$$

$$\text{при } pH_s > 7{,}7 \ldots Д''_ш = m_2 (CO_2)_0 - m_3 [Щ_0 - m_2 (CO_2)_0], \qquad (136)$$

где m_1 — коэффициент, зависящий от значения индекса насыщения J и отношения $(CO_2)_0/Щ_0$, принимается по графику (рис. 99, *а*);

m_2 — коэффициент, зависящий от значения pH_0 и отношения $(CO_2)_0/Щ_0$, принимается по графику (рис 99, *б*);

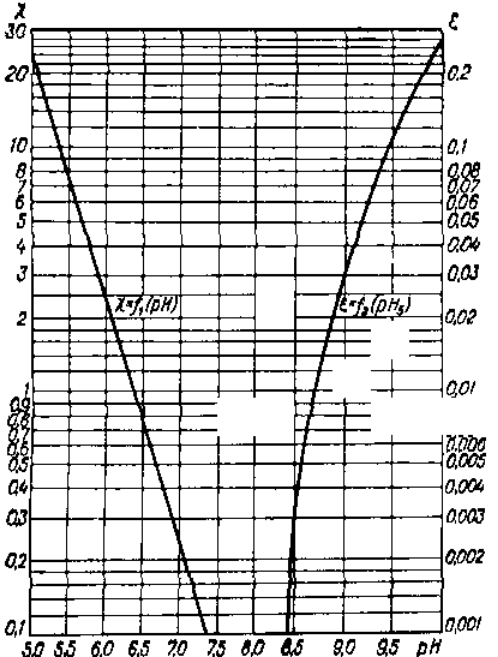
m_3 — коэффициент, зависящий от значения pH_s, принимается по графику (рис 99, *в*);

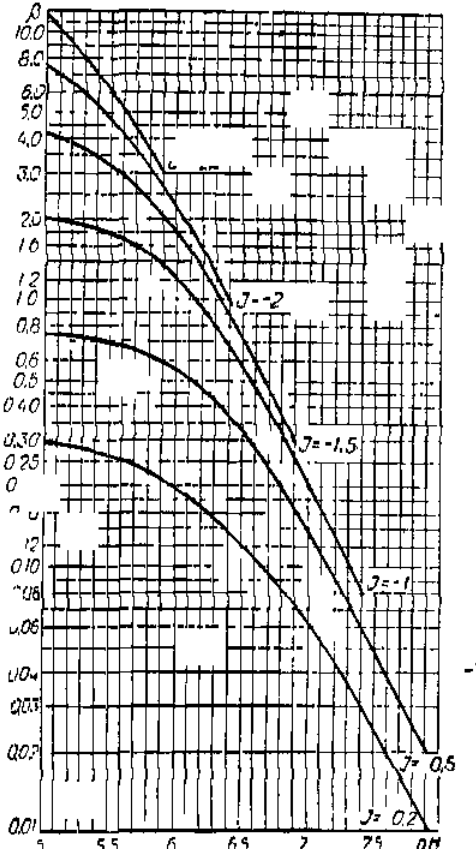
остальные обозначения прежние

Рис. 97. Г
щел

ление дозы
<8,4

Рис. 98. График для определения дозы щелочи при $pH_0 < 8,4 < pH_s$





Для пересчета доз подщелачивающих веществ, вычисленных по приведенным выше формулам, в весовые единицы технических продуктов $Д'''_{щ}$ в *мг-экв/л* используется следующая зависимость

$$Д'''_{щ} = Д_{щ} \cdot e_{щ} \frac{100}{C_{щ}}, \qquad (137)$$

где $C_{щ}$ — содержание подщелачивающего вещества в техническом продукте в проц;

$e_{щ}$ — эквивалентный вес подщелачива его вещества в *мг/мг-экв*, для извести — 28, соды — (см стр 69)

При индексе насыщения $J<0$ стабилизация воды может быть достигнута также путем удаления из нее избыточной углекислоты. Для этого воду пропускают через вентиляторную градирню (см. стр 230) с деревянной хордовой насадкой или насадкой из колец Рашига. Нагрузка на градирню в первом случае — 40 $м^3/м^2 \cdot ч$, во втором — 60 $м^3/м^2 \cdot ч$, расход воздуха принимают равным 20 $м^3$ на 1 $м^3$ воды. Если концентрация железа в воде превышает 1 *мг/л*, то применять кольца Рашига не следует Величину pH воды после градирни опре[illegible]т по графику (см рис 96), принимая со[illegible]жание CO_2 в вод[illegible]ым 8 *мг/л* и щелочность воды, равную ис[illegible]ной

Для производственных водопроводов в целях борьбы с коррози ен стал[illegible]х и чугунных труб следует применять гексаметаф фат или три[illegible]нифосфат натрия — доза 15—25 *мг/л* в расчете на зарный продукт Целесообразно также при вводе в эксплуатацию новых участков трубопроводов предусматривать возможность запол-

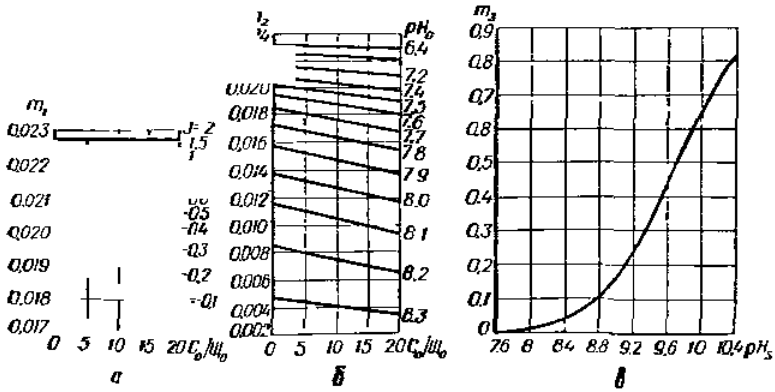


Рис 99 Графики для определения коэффициентов m_1, m_2, m_3.

нения их на 2—3 суток раствором указанных реагентов с концентрацией 200—250 *мг/л*

Растворы гексаметафосфата и триполифосфата натрия [126] приготовляют в б[illegible]ах с ко[illegible]ози[illegible]ю устойчивыми покры[illegible], количество их дол[illegible]о быть [illegible]мо[illegible]ше двух Для переме[illegible]ия при растворении кристаллических товарных продуктов в воде применяют механические мешалки или сжатый воздух, концентрацию

рабочих растворов принимают в пределах 0,5—3%. Время растворения в холодной воде при получении 3%-ного раствора составляет 4 *ч* и в воде с температурой 50°С — 2 *ч*. Дозируют раст[вор] при помощи аппаратуры аналогичной применяемой для до[зирования] кислот

§ 62. Стабилизационная обработка воды для предотвращения отложений карбоната кальция

Стабилизационная обработка воды при положительном индексе насыщения [сво]дится к ее подкислению серной или соляной кислотами или д[обав]лению фосфатов, тормозящих выделение карбоната кальция в осадок.

При подкис[лении] щелочность воды понижается и выделяется свободная угле[кислота], которая, находясь в равновесном состоянии с бика[рбонатами], препятствует образованию карбоната кальция и, с[ледо]вательно, зарастанию трубопроводов при подаче воды потребителю.

Расчет дозы кислоты в виде товарного продукта $Д_к$ в *мг/л* производится по формуле [10]

$$Д_к = aЩ_0e_к\frac{100}{C_к}; \qquad (138)$$

где $Щ_0$ — щелочность воды до стабилизационной обработки в *мг-экв/л*;

$e_к$ — эквивалентный вес кислоты (для серной — 49, соляной — 36,5);

$C_к$ — с[одер]жание кислоты в товарном продукте в проц.;

a — коэф[фи]циент, зависящий от [тем]пературы воды и индекса стабильности [воды] определяется по гра[фи]ку (рис. 100).

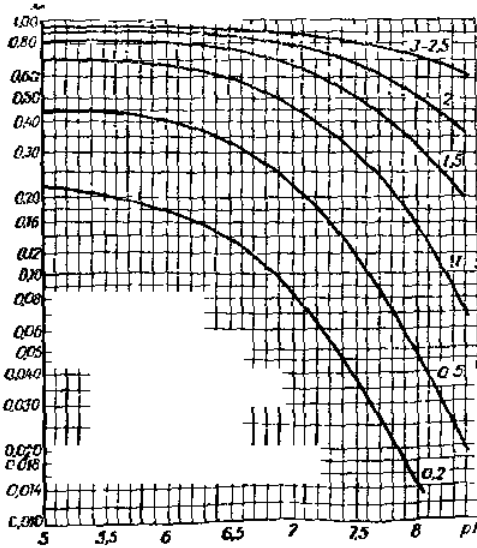


Рис. 100. График для определения [коэффициента] при подсчете дозы кислоты.

Для подкисления воды станции [обраба]тывают кислотным хозяйством, [опи]сание которого [дано] в гл. XIII (см. стр. [...]).

При стабилизационной обработке хозяйственно-питьевой воды гексаметафосфатом или тр[ехзамещ]енным фосфатом натрия до[за] реагента не должна превышать [...]делов допустимых концентраций фосфатов, установленных органами санитарного над[зора].

зора, — 2 *мг/л*. Для промышленного водоснабжения доза фосфатов может быть увеличена до 2—4 *мг/л*. Аппаратура для фосфатирования воды описана в § 61.

§ 63. Стабилизация воды фильтрованием через активные зернистые материалы

Стабилизация воды, содержащей агрессивную углекислоту (индекс стабильности $I<0$), может осуществляться фильтрованием ее в открытых б[illegible]орных фильтрах через мраморную крошку ($CaCO_3$), пол[illegible]женный доломит — магномассу ($CaCO_3 \cdot MgO$) или обожженный магнезит (MgO). Преимуществом данного метода стабилизационной об[illegible]ботки воды является автоматическая работа фильтров, так как при контакте этих активных масс с агрессивной водой в ней самопроизвольно устанавливается углекислотное равновесие. Для малых водопроводных станций такой способ может

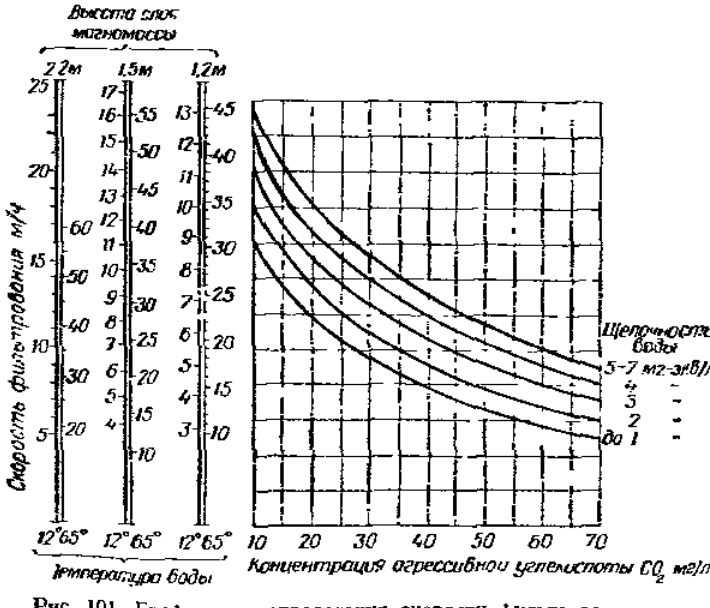


Рис. 101. График для определения скорости фильтрования воды через магномассу крупностью 1—3 *мм* ($d_{экв}=1{,}9$ *мм*) для температуры воды 12 и 65° С.

быть перспективен — не требуется контроля процесса и сложного оборудования известкового хозяйства. Недостатком метода является замедление скорости реакции при низких температурах воды, а также невозможность получить воду с положительным индексом насыщения ($I=+0{,}7$) для создания защитной карбонатной пленки на поверхности трубопроводов.

Для загрузки фильтров применяют крошку перечисленных выше материалов с размером частиц 0,5—3 *мм* при слое высотой до 2 *м*. Скорость фильтрования воды через мраморную крошку до 10 *м/ч*, через магнезиальную массу — 10—20 *м/ч*; она зависит от температуры и щелочности воды, а также от концентрации в ней агрессивной углекислоты. Для фильтров с магнезиальной массой скорость фильтрования может быть определена по номограмме, приведенной на рис. 101 [10]. Фильтрующий слой промывается восходящим потоком воды с интенсивностью 15 *л/м²·сек* в течение 10—15 *мин*, при водовоздушной промывке интенсивность подачи воздуха составляет 20—25 *л/м²·сек* в течение 5 *мин* с последующей промывкой водой с интенсивностью 3—4 *л/м² сек* на протяжении 2—3 *мин*. В поступающей на фильтры воде железо должно содержаться не более 0,5 *мг/л*, так как при большем количестве железа наблюдается цементирование зерен фильтрующей загрузки. Периодически фильтры обрабатывают растворимым активным материалом, пополняя его расход на стабилизационную обработку воды; для связывания 1 *мг* агрессивной углекислоты расходуется 2,3 *мг* мрамора или 1,1 *мг* магнезиальной массы. Иногда в фильтрующем слое используют мраморную крошку или обожженный магнезит в смеси с песком [17]. Такие фильтры комбинированного действия могут быть использованы для одновременного осветления воды и стабилизации ее состава.

§ 64. Примеры расчетов стабилизационной обработки воды

Пример 1. Определить дозу щелочи для стабилизации воды при следующих показателях ее качества: температура 12°С, общая исходная щелочность 3,8 *мг экв/л*, содержание кальция 44 *мг/л*, содержание свободной углекислоты 7 *мг/л*.

Доза сернокислого алюминия принята 45 *мг/л*, pH=7,5. Прокаленный растворенный остаток составляет 300 *мг/л*.

В качестве щелочи принята известь с содержанием CaO 50%.

По формуле (129) определяем

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2-}) - f_3(Щ) + f_4(P)$$

По номограмме (рис. 95)

$$f_1(t) = 2{,}3;\ f_2(Ca^{2+}) = 1.65;\ f_3(Щ) = 1{,}60;\ f_4 = 8.60,$$

тогда $pH_s = 2{,}3 - 1{,}65 - 1{,}60 + 8{,}80 - 7{,}85$

Индекс стабильности по формуле (128)

$$J = pH_0 \quad pH_s = 7{,}5 - 7{,}85 = -0.35,$$

следовательно, вода агрессивная.

Щелочность воды после ее коагулирования определим по формуле (130)

$$Щ = 3{,}8 - \frac{45}{57} \cong 3\ мг\text{-}экв/л,$$

При $pH_0 < pH_s < 8.4$, а в нашем примере это соотношение выдержано, по формуле (132)

$$Д_щ = \beta Щ_0 = 0{,}022 \cdot 3{,}8 = 0{,}084\ мг\text{-}экв/л.$$

По графику (см. рис. 97) $\beta = 0{,}022$.

Доза извести в весовых единицах технологического продукта по формуле (137) определяется

$$Д''_{щ} = 0{,}084 \cdot 28 \cdot \frac{100}{50} = 4{,}7 \ мг/л$$

Пример 2. Рассчитать дозу серной кислоты для стабилизации воды при следующих показателях ее качества температура 10°С; щелочность 4,5 *мг экв/л*, содержание кальция 100 *мг/л*, pH=7,9, прокаленный растворенный остаток 300 *мг/л*.

По формуле (129), пользуясь номограммой (рис. 95), определяем.

$$pH_s = 2{,}3 - 2{,}0 \quad 1{,}7 + 8{,}60 = 7{,}4$$

По формуле (128) индекс стабильности

$$J = 7{,}9 - 7{,}4 = + 0{,}5.$$

Расчет дозы кислоты в виде товарного продукта по формуле (138), принимая $C_к = 75\%$, $\alpha = 0{,}045$ (по графику рис 100), $e_к = 49$ (см. стр. 254)

$$Д_к = 0{,}045 \quad 4{,}5 \cdot 49 \cdot \frac{100}{75{,}0} = 13{,}2 \ мг/л$$

ГЛАВА XIII
УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ

§ 65. Общие сведения о процессах умягчения воды

Умягчением воды в технике называется процесс ее обработки, в результате которого из нее удаляются катионы, обусловливающие жесткость, т. е. Ca^{2+} и Mg^{2+}. По ГОСТ 2874—54 жесткость воды, предназначенной для хозяйственно-бытовых целей, не должна превышать 7 *мг-экв/л*. По согласованию с органами санитарного надзора эта норма может быть увеличена до 14 *мг-экв/л*. При большом содержании солей жесткости природные воды наряду с процессами осветления, обесцвечивания, обеззараживания и т. д. должны подвергаться умягчению. Однако в больших случаях используемым водоводом источники имеют жесткость, отвечающую нормам хозяйственно-бытовых вод, и в умягчении не нуждаются. Умягчение воды производится главным образом при подготовке ее для технических целей, особенно для паросилового хозяйства.

Существует несколько методов удаления из воды катионов кальция и магния. Выбор того или иного из них определяется качеством исходной воды и необходимой глубиной умягчения, т. е. предельной величиной остаточной жесткости. Наибольшее распространение в технике получили три основных метода умягчения воды: термический, реагентный и катионитовый. Первые два метода основаны на осаждении кальция и магния в виде нерастворимых соединений, образующихся в результате нагрева воды или при

обработке ее различными реагентами. Катионитовый метод основан на обмене ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на ионы Na^{+} или H^{+} при фильтровании воды через специальные материалы, естественные или искусственно приго ленные.

Метод умягчения выбирают на основе технико-экономического ср условий. При этом предварительных з ать, что воды пов тных источников целесообразно умягчать реагентны методами, если одновремен но я ть ос вание воды. Для ум я пэдз вод ц ить катионитовые уст

Очень часто для получе имой степени удаления солей кальция и магния комбинируют различные способы. Часть ионов кальция и магния осаждают реагентами, а остаток их извлекают кати ым обменом.

При и ении воды, пригодной для хозяйственно-питьевых нужд, о необходимо умягчать лишь часть воды с последующим см ем ее с исходной водой. Количество умягчаемой воды $P_у$ в проц определяется зависимостью

$$P_у = \frac{Ж_{о.исх} - Ж_{о.с}}{Ж_{о.исх} - Ж_у} \cdot 100, \qquad (139)$$

где $Ж_{о.исх}$ — общая жесткость исходной воды в *мг экв/л*;

$Ж_{о.с}$ — общая жесткость воды, поступающей в сеть в *мг-экв/л*;

$Ж_у$ — жесткость умягченной воды *в мг-экв/л*.

В настоящей главе рассмотрены следующие методы умягчения воды: устранение к й жесткости (декарбонизация) — известкование, устранение карбонатной и некарбонатной жесткости — известково-содовое, натрий-катионитовое и водород-, натрий-катионитовое умягче е.

Термический метод умягчения, обусловливающий в основном удаление из воды карбонатной жесткости, применяется только в тех случаях, когда подогрев воды необходим для других целей, например, для сетей горячего водоснабжения.

§ 66. Декарбонизация воды, известково-содовое умягчение

Для удаления из воды ионов кальция и магния в технике применяются известь, сода, реже едкий натр, при глубоком умягчении — тринатр , в особых с аях — ги ись или соли бария [4, 6, 10, 199]. При одновременном ение, обеспечивании и реагентном умягчении воды в качестве коагулянтов применяют только соли ж за — хлорное железо, железный куп с.

При *декарбонизации* используют известь в качестве реагента, связывающего присутству ую в воде свободную углекислоту (CO_2) и при pH=8,4 — бикарбонатные ионы (HCO_3^-). При этом образуются ионы карбоната (CO_3^{2-}), которые, взаимодействуя с присутствующими в воде и вводимыми с известью ионами кальция,

дают трудно растворимый карбонат кальция, выделяющийся в осадок.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O.$$

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O.$$

При дальнейшем добавлении извести (pH>10,3) из воды выделяется осадок гидроокиси магния

$$2Ca(OH)_2 + Mg(HCO_3)_2 = 2CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2\downarrow + 2H_2O,$$

$$Ca(OH)_2 + MgCl_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCl_2.$$

Од[illegible]ко удалять магнезиальную жесткость известью р[illegible]льно то[illegible]ко в том случае, если в воде после удаления ионо[illegible]ция остается избыток карбонатных ионов, связывающих кальций, вводимый с известью в виде карбоната кальция. В противном случае происходит лишь замена ионов магния на ионы кальция и жесткость воды не изменяется. Поэтому применять для умягчения воды одну известь целесообразно только тогда, когда жесткость воды определяется карбонатными солями.

При умягчении воды для хозяйственно-бытовых целей известью доза ее зависит от соотношения между содержанием ионов кальция и карбонатной жесткостью:

при $\frac{(Ca^{2+})}{20} > Ж_к$

$$Д_в = 28\left[\frac{(CO_2)}{22} + Ж_к \quad \frac{Д_к}{e} + 0{,}5\right]; \qquad (140)$$

при $\frac{(Ca^{2+})}{20} < Ж_к$

$$Д_в = 28\left[\frac{(CO_2)}{22} + 2Ж_к - \frac{(Ca^{2+})}{20} + \frac{Д_к}{e} + 1\right]. \qquad (141)$$

где (Ca^{2+}) — концентрация иона кальция в *мг/л*;

$Ж$ — карбонатная жесткость воды в *мг-экв/л*,

$Д_в$ — доза [illegible]сти в расчете на CaO в *мг/л*;

(CO_2) — конце[illegible]рация свободной углекислоты в *мг/л*;

$Д_к$ — доза коагулянта в расчете на безводный продукт в *мг/л*,

e — эквивалентный вес соли, применяющийся в качестве коагулянта (см стр. 69).

Выражение $\frac{Д_к}{e}$ берут со знаком минус, если коагулянт вводится раньше извести, и со знаком плюс — если совместно или после.

При декарб[illegible]ции остаточная жесткость может быть доведена до некарб[illegible]ти жесткости +0,4÷0,8 *мг-экв/л* и щелочность до 0,8—1,2 *мг-экв/л*.

В случае так называемого *известково-содового метода* находящиеся в воде ионы кальция и магния осаждаются наиболее полно,

причем известь расходуется на удаление карбонатной и магниевой жесткости, сода удаляет некарбонатную кальциевую жесткость

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 = CaCO_3\downarrow + 2NaCl;$$

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 = CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4.$$

Дозы извести и соды в *мг/л* при этом методе умягчения воды определяют по формулам:

$$Д_и = 28\left[\frac{(CO_2)}{20} + Ж_к + \frac{(Mg^{2+})}{12} + \frac{Д_к}{e} + 0{,}5\right]; \qquad (142)$$

$$Д_с = 53\left[Ж_{н.к} + \frac{Д_к}{e} + 1\right], \qquad (143)$$

где (Mg^{2+}) — концентрация иона магния в *мг/л*;

$Ж_{н.к}$ — некарбонатная жесткость воды в *мг-экв/л*;

$Д_с$ — доза соды в расчете на Na_2CO_3 в *мг/л*.

Остальные обозначения и знак перед $\frac{Д_к}{e}$ для дозы извести прежние

При содовом умягчении остаточная жесткость может быть доведена до 0,5—1 *мг-экв/л* и щелочность до 0,8—1,2 *мг-экв/л*

Образующиеся при содово-известковом методе умягчения $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ склонны образовывать пересыщенные растворы, а также весьма долго оставаться в коллоидно-дисперсном состоянии. Поэтому процесс кристаллизации и переход их в грубодисперсный шлам длительны, особенно при низких температурах и наличии в воде органических примесей. Последние действуют как защитные коллоиды и при большом их количестве жесткость воды при реагентном умягчении может снижаться всего на 15—20%. В подобных случаях [illegible] умягчением или в [illegible] умягчения из [illegible] удаляют органические примеси при [illegible] коагулянтов. Обычно часто при содово-известковом методе процесс проводят в две стадии. Вначале удаляют из воды органические примеси и большую часть карбонатной жесткости, применяя соли алюминия или железа с известью, создавая при этом оптимальные условия для протекания процесса коагуляции. Затем, вводя соду и остальную часть извести, доумягчают воду. Если удаление органических примесей производится совместно с умягчением воды, то в качестве коагулянтов применяются исключительно соли железа, так как при высоком значении pH воды, необходимом для удаления магнезиальной жесткости, соли алюминия не образуют с [illegible] поверхностно-активной гидроокиси.

При отсутствии экспериментальных данных ориентировочный расчет дозы коагулянта $Д_к$ в *мг/л* производят по формуле

$$Д_к = 3\sqrt{C}, \qquad (144)$$

где C — количество взвеси, образующейся при умягчении воды в расчете на сухое вещество в *мг/л*.

Эту величину определяют, используя формулы:
при декарбонизации (известковании) воды

$$C = M_{\text{исх}} + 50\left[\frac{(CO_2)}{22} + 2Ж_к\right] - 29\frac{(Mg^{2+})}{12} + Д_в\left(\frac{100-m}{100}\right), \quad (145)$$

при известково-содовом умягчении

$$C = M_{\text{исх}} + 50\left[Ж_о + Ж_к + \frac{(CO_2)}{22} + 0{,}5\right] + 29\frac{(Mg^{2+})}{12} + Д_в\left(\frac{100-m}{100}\right), \quad (146)$$

где $M_{\text{исх}}$ — содержание взвешенных веществ в исходной воде в *мг/л*;

$Ж_о$ — общая жесткость воды в *мг экв/л*;

m — содержание в товарной извести CaO в проц.

В технологических схемах реагентного умягчения воды, как и в схемах осветления и обесцвечивания, используется следующее оборудование: ап ратура для приготовления и дозирования реагентов, смесители, отстойники или осветлители, фильтры и устройства для стабилиза ой обработки воды.

Часть обор ния водоумягчительных установок имеет специфическое устройство и изготовляется промышленностью нескольких з В ос льных слу х в установках используется обор алоги е описанн у в предыдущих главах

Известь в проц ах декарбонизации и известково-содового умягчения воды применяется в виде известкового молока Если расход ее не превышает 0,25 *т* в сутки, то можно употреблять известковый раст , получаемый в сатураторах (см. стр. 84).

ду используют только в растворенном состоянии.

При низких температурах п шивание воды с ранее выпавшим осадком позволяет сок время формирования твердой фазы $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ Интенсивно выделяется карбонат кальция также на ра гой повер сти кварцевого песка или мраморной крошки Поэ у в после е время в практике умягчения воды широкое распространение получили отстойники с контактно-шлам ыми смесителями или рециркуляцией шлама, осветлители со в ешенным слоем осадка и вихревые реакторы с песком или мраморной крошкой Если при декарбонизации $\frac{(Ca^{2+})}{20} > Ж_к$ и известково-содовом умягч ии содержание магния в воде не превышает 15 *мг/л*, то в техн гической схеме можно применять вихревые реакторы (спираторы) в сочетании с фильтрами; их можно к ктировать как с орными, так и самотечными, однако поступая в них вода жна быть с малой мутностью и цветностью, так как коагулянт в вихревых реакторах не применяется В основном такие ко рукции используют для умягчения подземных вод.

Схема напо ой водоумягчительной установки, состоящей из

дозирующих устройств, вихревого реактора и напорного фильтра, приведена на рис. 102. Смеситель и разводящие трубопроводы за-
карбонатом кальция, поэтому в н ых уст овках ставятся отдельные дозаторы реагентов на каждый вихревой реак .

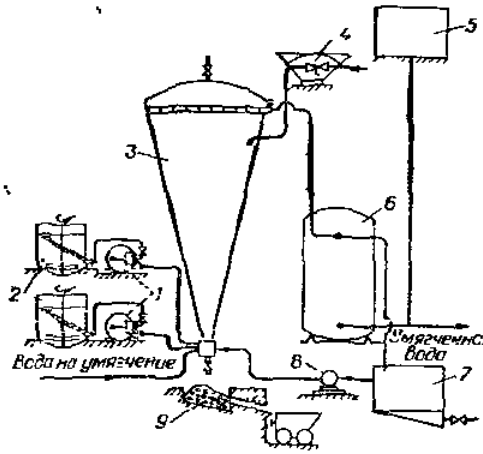


Рис. 102. Схема умягчительной установки с вихревым реактором

1 — дозаторы известкового молока и раствора соды, *2* — баки для известкового молока и раствора соды, *3* — вихревой реактор, *4* — эжектор для подачи контактной массы, *5* — напорный бак промывной воды, *6* — напорный бак для отстоявшейся воды, *7* — бак для воды от промывки фильтров, *8* — насос для перекачки осветленной воды от промывки фильтров, *9* — отработавшая контактная масса.

В установках с вихревым реактором отсутствуют камеры реакции, так как формирование хлопьев осадка происходит на контактной массе. Однако в связи с повышенной мутностью умягченной воды после вихревого реактора и, следовательно, частой промывки фильтров эти установки снабжаются баками-отстойниками для осветления и возврата воды после промывки фильтров (время отстоя — 2—3 *ч*).

Схема вихревого реактора диаметром 2 *м* и высотой около 6 *м*, разработанного институтом Промэнергопроект, приведена на рис. 103. При проектировании таких конструкций следует принимать:

Скорость входа воды в реактор	0,8—1,0 *м/сек*
Угол конусности	15—20°
Объем контактной массы (кварцевый песок или мраморная крошка с размерами зерен 0,2—0,3 *мм*), загружаемой в реактор	10 *кг/м*³
Гидравлическое сопротивление контактной массы	0,3 *м* на 1 *м* высоты
Скорость подъема воды в реакторе на уровне водосборной воронки	4—6 *мм/сек*

В результате осаждения карбоната кальция на частицах контактной массы размер их увеличивается до 1—1,5 *мм*. Эти крупные частицы скопляются в нижней части реактора и выпускаются из него через нижнюю задвижку. Свежую контактную массу добавляют при помощи эжектора. Расход ее составляет

$$G = 0{,}045 Ж q, \qquad (147)$$

где G — количество добавляемой контактной массы в *кг* в сутки;

$Ж$ — удаляемая в реакторе жесткость воды в *мг-экв/л*;

q — производительность установки в *м*³/*ч*.

Отработанная контактная масса, состоящая из карбоната кальция ($CaCO_3$ 95—97%, влажность 5—15%), может быть использована для получения извести, необходимой для умягчения воды.

При температуре 8—10°С установка с вихревыми реакторами обеспечивает остаточную жесткость воды 1—2 *мг-экв/л*.

В тех случаях, когда в умягчаемой воде содержится большое количество ионов магния и для ее осветления необходимо добавлять коагулянт, выделение осадков производят в осветлителях описанных выше конструкций (см. гл. VI). При их расчете коэффициент распределения воды между зоной осветления и осадкоуплотнителем K принимают равным 0,7—0,8. Скорость восходящего потока воды в зоне осветления $v_{осв}$ должна быть в пределах 0,8—1 *мм/сек* с меньшую величину принимают, если магниевая жесткость составляет больше 25% общей жесткости; высота зоны осветления 2÷2,5 *м*. Объем зоны накопления и уплотнения осадка определяют по формуле (58). Максимальное содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель (C в *мг/л*), рассчитывают по формулам (145) и (146), добавляя к этом количество взвеси M', образуемой коагулянтом; при декарбонизации $M'=0{,}7\,Д$ и при известково содовом умягчении $M'=1{,}6\,Д_к$. Время уплотнения осадка T необходимо принимать для вод с магниевой жесткостью менее 25% общей жесткости 3—4 *ч* и для воды с большой магниевой жесткостью — 5—6 *ч*, среднюю концентрацию взвешенных веществ в осадке, накапливающемся в осадкоуплотнителе ($\delta_{ср}$), находят по табл. 25.

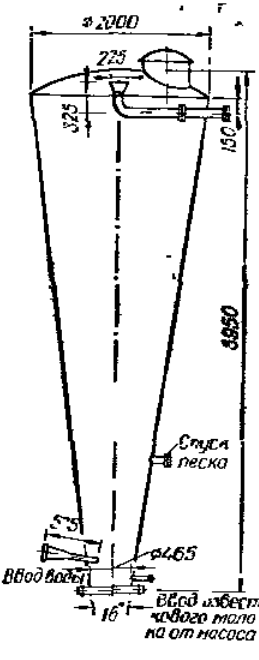


Рис. 103. Схема вихревого реактора конструкции института «Промэнерго проект»

Воду по площади осветлителя распределяют при помощи опускных труб, которые доступны для очистки от образующихся отложений. Каждая такая труба рассчитана на обслуживание площади не более 20 *м²*, скорость движения воды в ней не должна превышать 0,7 *м/сек*, а скорость потока воды в щели между нижней кромкой опускной трубы и наклонными стенками осветлителя составляет 0,6—0,7 *м/сек*. На верхней части опускной трубы предусматривают воздухоотделитель, если используемый в установке смеситель не обеспечивает выделения из воды пузырьков воздуха.

Наклон стенок нижней части осветлителя, высоту взвешенного слоя осадка, сбор осветленной воды, отбор избыточного количества осадка в осадкоуплотнитель, расположение осадкоприемных окон или осадкоотводящих труб, удаление осадка из осадкоуплотнителя

и другие конструктивные особенности принимают в соответствии с описанным е рекомен циями (см гл VI).

Потеря в осветл. ле при известково-содовом умягчении воды составляет 5—10 *см* на каждый метр взвешенного слоя осадка (верхний предел при большом количестве и преимущественном содержании в нем карбоната кальция).

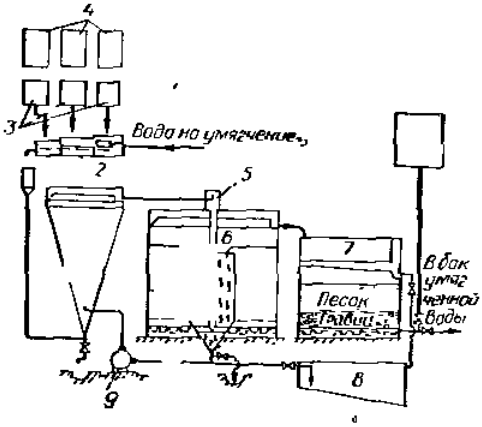


Рис 104 Схема установки для реагентного умягчения воды с осветлителями

1 – вертикальная камера хлопьеобразования *2* — смеситель *3* — дозаторы, *4* — расходные баки для реагентов, *5* — воздухоотделитель, *6* осветлитель, *7*— фильтр, *8* — бак для воды после промывки, *9* — насос для откачки осветленной воды

Схема установки с осветлителями для умягчения мутных вод с большим содержанием ионов магния содово-известковым методом приведена на рис. 104 Она состоит из смесителя, камеры хлопьеобразования, осветлителя конструкции научно-исследовательского института ВОДГЕО и самотечного фильтра, а также бака и насоса для рециркуляции воды и промывки фильтров [27]. В тех случаях, когда в умягчительной установке исполь ются осветлители, разр. е Центральным научно-исс ovательским институтом ... ства путей сообщения, см ...тели и камеры хлопьес азования не предусматриваются, так как смешение реагентов с водой и фо ание хло в осадка происходят в самих осветлителях Конс ...ция осветл...ля ЦНИИ-1А приведена на рис 105, большая высота при небольшом объеме осадкоуплотнителей позволяет применять их для умягчения воды без огрева, а также при обескремнивании воды каустическим магнез м Тангенциальный подвод воды обусловливает ее вращательное движение в нижней части таких осветлителей, что повышает ус чивость взве ...ного с...я при ...х температуры воды и ...тель ти уст овки Р ...ание отбора осадка по в ... шенного слоя создает предпосылки получения его оптимальной структуры, что улучшает эффект умягчения и осветления воды.

Для выделения осадков, образующихся при умягчении воды, используют также и вертик ные отстойники Расчет их и конструктивное оформление производятся в соответствии с рекомендациями, приведенными ранее (см. гл V, § 25). Особый интерес представляют отстойники, оборудованные контактно-шламовым

смесителем (рис. 106). В них образование твердой фазы карбоната кальция и гидроокиси магния происходит в зоне уже накопленного осадка, что способствует достижению более полного умягчения и осветления обрабатываемой воды [130].

В установках для декарбонизации воды или известково-содового умягчения воды рекомендуется применять одноточные фильтры с одно- или двухслойной загрузкой. Проектирование их происходит в соответствии с рекомендациями, приведенными в гл. VII (см. § 36). В качестве фильтрующей загрузки используют кварцевый песок, дробленый антрацит, мраморную крошку (крупность зерен 0,5—1,2 *мм*). В связи с тем, что в результате умягчения вода получается нестабильной, в фильтрующем слое, особенно в верхней его части, может наблюдаться отложение карбоната кальция. Поэтому в фильтрах водоумягчительных установок наряду с обычной промывкой предусматривают устройства для верхней промывки зернистой загрузки.

Во избежание ухудшения органолептических свойств для питьевой воды рекомендуется применять лишь известковый способ умягчения (декарбонизацию) с последующей стабилизацией обрабатываемой воды.

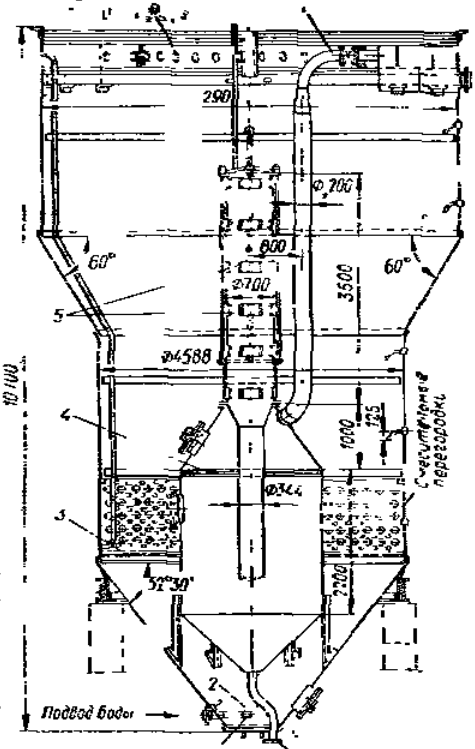


Рис. 105. Схема осветлителя типа ЦНИИ-1А

1 — сопло; *2* — подвод реагентов; *3* — нижняя распределительная решетка; *4* — осадкоуплотнитель; *5* — осадкоприемные окна; *6* — сборный желоб; *7* — отвод осветленной воды из осадкоуплотнителя; *8* — отвод осадка

§ 67. Умягчение воды натрий-катионитовым методом

Снижение жесткости воды методом катионного обмена основано на способности некоторых природных или искусственных веществ, практически нерастворимых в воде, обменивать находящиеся в их составе ионы Na^+ и H^+ на ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}, обусловливающие жесткость воды [131—135]. Процесс обмена катионов рассматривается в настоящее время как обратимая гетерогенная химическая реакция, протекающая на поверхности твердой фазы катиона. Обмен катионов происходит в строго эквивалентных соотношениях.

Энергия вхождения различных катионов в катионит по величине их динамической активности может быть охарактеризована для одинаковых условий следующим рядом: $Na^{+} < NH_4^{+} < K^{+} < Mg^{2+} < Ca^{2+}$, т. е. чем больше заряд катионов, тем больше их энергия вхождения в катионит. Для катионитов одинаковой валентности энергия вхождения зависит от степени их гидратации. Что касает-

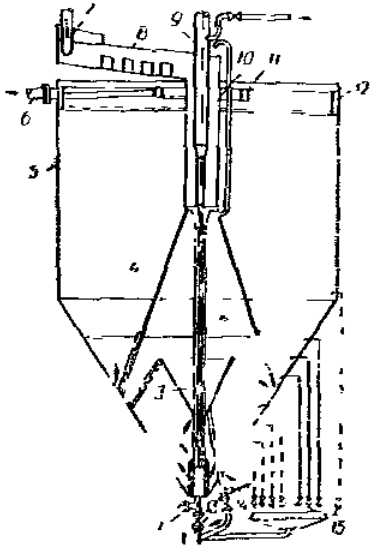


Рис. 106. Схема отстойника с контактно-шламовым смесителем

1 — трубопровод подачи воды для размыва шлама, *2* — зона смешения, *3* — [illegible] накопитель; *4* — раструб *5* — корпус, *6* — трубопровод отвода [illegible] ды, *7* — [illegible] ды, *8* — [illegible] воде из-[illegible] сь, *9* — [illegible] растворенный [illegible] сь, *10* — центральный [illegible] ой [illegible] *12* — периферийный желоб для осветленной [illegible] *13* — [illegible] вка отстойника *14* — трубопровод отвода шлама, *15* — контрольные трубы

ся энергии вхождения иона водорода в катионит, то она в 17 раз больше, чем у Na^{+} и в 4 раза больше, чем у Ca^{2+}.

Скорость обмена катионов зависит от их диффузии к поверхности раздела катионит — вода и определяется структурой катионита. При компактной структуре катионита обмен происходит быстро и в основном на наружных поверхностях — экстрамицеллярный обмен. Однако при этом не полностью используется сорбционная емкость катионита. В случае губчатой структуры катионита, когда размеры капиллярных каналов больше диаметра гидратированных [illegible] ся на внутренних поверхностях — интермицеллярных, но скорость его несколько меньше, а обменная способность больше. Скорость реакций обмена ионов в катионитах и достижения полного равновесия в основном велики. По данным ВТИ и ВОДГЕО даже в [illegible] катионитах реакция обмена Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} на ионы водорода достигает 90—98% в течение долей минуты, а равновесие устанавливается за 5—6 *мин*. Благодаря этому допустимы большие скорости фильтрования умягчаемой воды через катиониты.

Умягчение воды методом катионного обмена производится путем фильтрования ее через слой катионита, загруженного на дренажную решетку металлического фильтра. При этом можно разгра-

ничить следующие зоны в фильтрующем слое: верхний слой истощенного катионита, рабочий или защитный слой, в котором происходит умягчение воды, и слой неработавшего катионита. В момент проскока ионов, определяющих жесткость воды, в фильтрат слой неработавшего катионита исчезает и фильтр подвергается регенерации раствором поваренной соли или кислоты. Толщину верхнего истощенного слоя катионита рассчитывают, исходя из предположения, что равновесное насыщение в нем описывается уравнением закона действующих масс. Толщина нижнего рабочего слоя катионита зависит от качества катионита, жесткости воды и скорости ее фильтрования. Определяется она на основе теории диффузионной кинетики процесса катионного обмена.

Процесс обработки воды на катионитовых фильтрах слагается из следующих последовательных операций:

1) фильтрование умягченной воды через слой катионита до момента достижения предельно допустимой жесткости в фильтрате (скорость фильтрования в пределах 10—25 *м/ч*);

2) взрыхление слоя катионита восходящим потоком неумягченной воды, отработанного регенерата или отмывных вод (интенсивность потока 3—4 *л/сек м²*);

3) спуск водяной подушки во избежание разбавления регенерирующего раствора,

4) регенерация катионита посредством фильтрования соответствующего раствора (скорость фильтрования 3—5 *м/ч*);

5) отмывка катионита неумягченной водой (скорость фильтрования 8—10 *м/ч*).

На регенерацию катионита обычно затрачивают около 2 *ч*, из них на взрыхление — 10—15 *мин*, на фильтрование регенерирующего раствора — 15—30 *мин* и на отмывку — 30—60 *мин*.

В табл. 48 приведена характеристика веществ, применяемых при катионитовых методах умягчения воды.

Сильнокислотные катиониты мало понижают обменную способность при изменении pH среды, слабокислотные — практически способны к обмену ионов лишь при pH среды больше 7.

Полную обменную способность катионитов по ГОСТ 5695—53 определяют в динамических условиях следующим образом: навеску в 1 *г* высушенного при 80°С катионита замачивают 5%-ным раствором соляной кислоты и помещают в стеклянную трубку диаметром 1,5—2 *см*, катионит регенерируют в течение 5 *ч* раствором соляной кислоты той же концентрации (расход 1 *л/ч*), отмывают до нейтральной реакции по метилоранжу и затем фильтруют раствор хлористого кальция с концентрацией около 10 *мг-экв/л* (*скорость фильтрования 3—5 м/ч*) до тех пор, пока жесткость фильтрата не сравнится с жесткостью исходного раствора. Полная обменная способность катионита в H-форме определяется суммированием изменения жесткости в каждой порции фильтрата (200 *мл*) с последующим отнесением суммы к единице веса или объема. Полную обменную способность катионита в Na-форме определяют при последующей его регенерации 10%-ным раствором поварен-

Таблица 48. *Технологические характеристики катионитов*

Катионит	Активные группы	Внешний вид катионита	Диаметр зерен в *мм*	Насыпной вес в *т/м³*		Коэффициент набухания	Полная обменная способность в *г экв/м³*
				воздушно сухого	набухшего в воде		
Сильнокислотные катиониты							
Сульфоуголь							
мелкий I сорта	SO_3H	Черные зерна неправильной формы	0,25—0,7	0,55	0,42	1,32	570
крупный I »			0,3—1,5	0,60	0,47	1,28	570
мелкий II »	COOH		0,25—0,7	0,55	0,42	1,32	530
крупный II	OH		0,3—1,5	0,60	0,47	1,28	530
КУ-1	SO_3H, OH	Зерна черного цвета	0,3—0,2	0,74	0,44	1,60	650
КУ-2	SO_3H	Зерна желтоватого цвета	0,3—1,5	0,71	0,50	1,42	1700
Слабокислотные катиониты							
КБ-4	COOH	Белые прозрачные зерна	0,3—0,6	0,50	0,40	1,20	pH—9,5

ной соли и отмывки до исчезновения хлорид-иона, условия регенерации и понообмена при фильтровании раствора хлористого кальция аналогичны предыдущим.

При умягче ... оды для хозяйственно-питьевых целей обычно применяется ... ное Na-катионирование Процент воды, подвергаемой умягчению, определяется по ранее приведенному уравнению (139). Реакции умягчения воды, протекающие на поверхности катионита в Na-форме, могут быть представлены уравнениями:

$$2Na[K] + \frac{Ca(HCO_3)_2}{Mg(HCO_3)_2} \rightleftarrows \frac{Ca[K]_2}{Mg[K]_2} + 2NaHCO_3;$$

$$2Na[K] + \frac{CaCl_2}{MgCl_2} \rightleftarrows \frac{Ca[K]_2}{Mg[K]_2} + 2NaCl;$$

$$2Na[K] + \frac{CaSO_4}{MgSO_4} \rightleftarrows \frac{Ca[K]_2}{Mg[K]_2} + Na_2SO_4.$$

Символом [K] обозначена нерастворимая матрица полимера-катионита, условно принимаемая одноосновной кислотой, в виде дро би и ... едены однот ... ные соли ... льция и магния. Реакция регенерации катионита раствором хлористого натрия протекает по уравнению

$$Ca[K]_2 + 2NaCl \rightleftarrows 2Na[K] + CaCl_2.$$

Простейшая схема установок для Na-катионирования воды приведена на рис 107, *а* Она включает в себя катионитовый фильтр, в котором про ... ходит умягчение воды, солер ... ель для приготовления ре ... ерирующего раствора повар ... соли и бака для сбора воды после отмывки катионита, применяемой при повторном взрыхл ... и слоя катионита. Если водоумягчительная установка обеспечивается складом для мокрого хранения повар ... ной соли, то солерастворители не применяются Такая схема об ... отки воды пригодна в случае умягчения воды с содержанием взвешенных веще ... в не бо ... е 5—8 *мг/л*, цветностью до 30° и неболь ... ой жесткост ... (арте ... нская вода или вода из сети хозяйстве ... -питьевого водопровода) При *использовании воды открытых водоемов* со з ... ... ю мутн ... ю и цвет ... о в ул ... чит ... ные уста новк ... ют соору ... ния для ... рител ... й с ... тки воды коагуляцией. Такие установки дополняют обычно аппаратурой напорного типа, ш ... овым дозатором, механическим фильтром и баками для раст ... ора коагулянта и воды, используемой при промывке напорных фильтров

В тех случаях, когда необходимо одновременно с умягчением воды понизить ее щелочность, применяют Na-катионитовые установки с предварительным известкованием воды и очисткой ее коагуляцией Известкование и очистку воды коагулянтом проводят в уста ... овке *для* реагентного умягчения воды В ней снижают кар бона ... ую жесткость воды до 1—1,5 *мг экв/л* и после Na-катиони рования щелочность ее не превышает 1,5 *мг-экв/л* Аналогичных

результатов достигают, нейтрализуя щелочность воды кислотой в ыч Na-катионитовой установке После катионитовых фильтв Вода поступает в смеситель, в котор й к ней из бачка добавют раствор серной кислоты Образу аяся при реакции бикарнатов углекислота удаляется из воды в дегазаторе Остаточная щелочность воды при этом составляет 0,5—1,0 *мг-экв/л*.

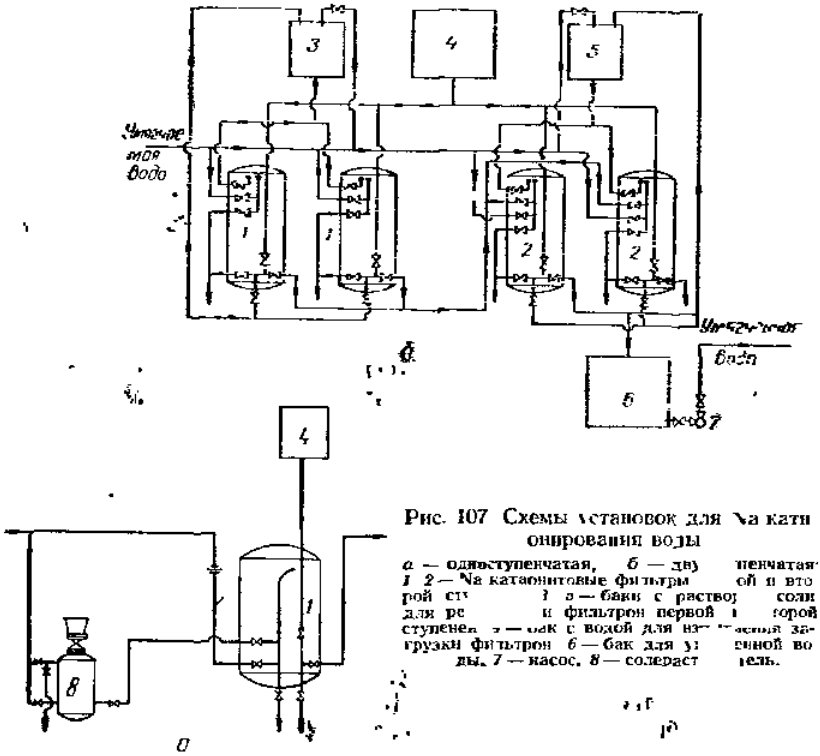


Рис. 107 Схемы установок для Na катионирования воды

а — одноступенчатая, *б* — дв ненчатая *1 2* — Na катионитовые фильтры ой и второй ст *3 а* — баки с раствор соли для ре и фильтров первой и торой ступене *4* — бак с водой для из ченная загрузки фильтров *6* — бак для у ленной воды, *7* — насос, *8* — солерас ель.

Применение одноступенчатой схемы катионирования воды обеспечивает остаточную жесткость 0,03—0,05 *мг-экв/л* Для получения более глубокого умягчения применяют двухступенчатое катионирование воды

Схема установки с двухступенчатым Na-катионированием приведена на рис. 107, *б* Фильтрование умягчаемой воды на фильтрах – эй ступен проводят до тех пор, пока жесткость фильтрата не игнет 25— % жесткости исходной воды Это позволяет увеличить емкость поглощения на фильтрах и увеличить срок их полезной работы Фил ы второй ступени несут ую нагрузку по снижению же сти воды и срок их рабо стигает 150—200 *ч*. Применение двухступенчатой схемы Na-катионирования позволяет снизить жесткость воды до 0,01 *мг-экв/л* и уменьшить расход поваренной соли на регенерацию [35]

При проектировании Na-катионитовых установок объем катионита в фильтрах первой ступени $W_к$ в $м^3$ определяют по формуле

$$W_к = \frac{24qЖ_0}{nE^{Na}_{раб}}, \quad (148)$$

где q — расход умягчаемой воды в $м^3/ч$;

$Ж_0$ — общая жесткость исходной воды в $г\text{-}экв/м^3$;

n — число регенераций каждого фильтра в сутки, принимается равным 1—3,

$E^{Na}_{раб}$ — рабочая обменная емкость катионита в Na-форме в $г\text{-}экв/м^3$;

Последнюю величину определяют, используя зависимость

$$E^{Na}_{раб} = a_э \beta_{Na} E_{пол} - 0{,}5q_у Ж_0 \quad (149)$$

где $a_э$ — коэффициент, учитывающий неполноту регенерации катионита и зависящий от удельного расхода поваренной соли;

β_{Na} — коэффициент, учитывающий снижение обменной емкости катионита по ионам Ca^{2+} и Mg^{2+}, обусловливающих жесткость воды вследствие частичного удержания иона;

$E_{пол}$ — полная обменная способность катионита в $г\text{-}экв/м^3$ (см. табл 48);

$q_у$ — удельный расход воды в $м^3$, потребляемой на отмывку 1 $м^3$ катионита (примерно 4—5).

Величина коэффициента эффективности регенерации катионита — $a_э$ может быть найдена из следующих соотношений (рис 108):

Удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита в $г$ на 1 $г\text{-}экв$ рабочей обменной емкости	100	150	200	250	300
$a_э$	0,62	0,74	0,81	0,86	0,90

Значение коэффициента β_{Na} зависит от концентрации иона Na^+ в исходной воде и ее жесткости, величина его может быть определена из соотношений

$C^2_{Na}/Ж_0$	0,01	0,05	0,1	0,5	1	5	10
β_{Na}	0,93	0,88	0,83	0,70	0,65	0,54	0,50 ,

где C_{Na} — концентрация иона Na^- в исходной воде в $г\text{-}экв/м^3$;

$C_{Na} = (Na^-)\ 23$, (Na^-) — содержание иона Na в $г/м^3$.

Расход технической поваренной соли $P_{т.с}$ в $кг$ на регенерацию Na-катионитового фильтра первой ступени рассчитывают по формуле

$$P_{т.с} = \frac{fHE^{Na}_{раб}a}{1000}, \quad (150)$$

где f — площадь одного фильтра в $м^2$;

H — высота слоя катионита в $м$, принимается в фильтрах первой ступени в пределах от 1,8 до 2,5 $м$;

$F^{Na}_{раб}$ — рабочая обменная емкость катионита в $г\text{-}экв/м^3$;

a — удельный расход поваренной соли в $г$ на 1 $г$-$экв$ рабочей обменной емкости, принимается равным 100—150 $г/г$-$экв$ для фильтров первой ступени и 150—200 $г/г$-$экв$ при одноступенчатой схеме Na-катионирования.

Жесткость умягченной воды зависит от удельного расхода поваренной соли на регенерацию и солесодержания исходной воды [10]

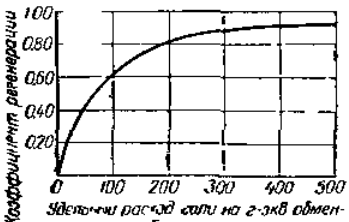


Рис 108. График для определения коэффициента эффективности регенерации Na катионита.

Площадь катионитовых фильтров первой ступени F в $м^2$ определяется зависимостью

$$F = W_ч/H \qquad (151)$$

Скорость фильтрования воды в $м/ч$ для напорных фильтров первой ступени при нормальной эксплуатации принимается в зависимости от жесткости исходной воды:

При общей жесткости умягчаемой воды	5 *мг-экв/л*	— 25
То же	10 »	— 15
»	15 »	— 10

Допускается кратковременное увеличение скорости фильтрации на 10 $м/ч$ по сравнению с приведенными величинами при выключении фильтров на регенерацию или ремонт.

Скорость фильтрования воды в открытых катионитовых фильтрах не должна превышать 15 $м/ч$, слой воды над катионитом принимается в них в пределах 2,5—3 $м$.

Количество рабочих катионитовых фильтров первой ступени должно быть не менее двух и одного резервного.

Общую потерю напора в катионитовых фильтрах напорного типа определяют на основании следующих данных (при высоте слоя зернистой загрузки 2,2—2,8 $м$).

Скорость фильтрования в $м/ч$	5	10	15	20	25
Общая потеря напора в $м$:					
при размере зерен 0,3—0,8 *мм*	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10
То же 0,5—1,1 »	4—5	4—5	5—6	5—6	6—7

Интенсивность подачи воды в $л/сек \cdot м^2$ на взрыхление слоя катионита перед регенерацией принимается в зависимости от размера зерен:

При крупности зерен катионита 0,3—0,8 *мм*	3
То же 0,5—1,1 »	4

Продолжительность взрыхления равна 15 *мин*; необходимый объем бака определяют в соответствии с рекомендациями для промывного бака скорых фильтров (см. гл. VII, § 36).

Концентрация регенерационного раствора поваренной соли принимается в пределах 2—5%, если не требуется глубокого умягчения воды (жесткость до 0,2 *мг-экв/л*). При глубоком умягчении воды (жесткость менее 0,05 *мг экв/л*) для экономии соли целесообразно проводить регенерацию ступенчато, пропуская сначала 2%-ный раствор в количестве 1,2 $м^3$ на 1 $м^3$ катионита и в конце оста ческое количество соли в виде 7—10%-ного раствора Скорость фильтрования регенерационного раствора должна составлять 3—5 *м/ч*

Отмывка катионита производится неумягченной водой до тех пор, пока концентрация хлоридов в фильтрате примерно не сравняется с их содержанием в исходной воде Скорость ильтрования воды при отмывке должна быть порядка 8—10 *м/ч* при удельном расходе воды на отмывку 4—5 $м^3$ на 1 $м^3$ катионита. Первую половину отмывочной воды после фильтров сбрасывают в водосток, а вторую собирают в бак и используют для взрыхления катионита или приготовления регенерацио го раствора поваренной соли

При проектировании Na-катионитовых фильтров второй ступени применяют вышеприведенные зависимости, используемые при расчете фильтров пе й ступени При этом принимают.

Высота слоя катионита	1,5 *м*
Скорость ия не более . .	60 *м/ч*
Жесткость цей воды . . .	0,1 *мг-экв/л*
Рабочая поглощения сульфоугля .	250—300 *г-экв/м³*
Расход по й соли при регенерации .	300—400 *г/г-экв*
Общая потеря напора в фильтре . .	13—15 *м*

Отмывку катионита после регенерации в фильтрах второй ступени производят умягченной водой после этих же фильтров

§ 68. Умягчение воды водород-, натрий-катионитовым методом

При обработке катионитов раствором кислоты способные к обмену катионы замещаются ионом H кислоты [131—135]

$$2Na[K] + H_2SO_4 \rightleftarrows 2H[K] + Na_2SO_4.$$

Реакции умягчения воды при фильтровании ее через H катионит, а также реакции обмена других катионитов могут быть представлены следующим образом (см. стр 269)

$$2H[K] + \frac{Ca(HCO_3)_2}{Mg(HCO_3)_2} \rightleftarrows \frac{Ca[K]_2}{Mg[K]_2} + H_2O + CO_2\uparrow;$$

$$2H[K] + \frac{CaCl_2}{MgCl_2} \rightleftarrows \frac{Ca[K]_2}{Mg[K]_2} + 2HCl;$$

$$2H[K] + \frac{CaSO_4}{MgSO_4} \rightleftarrows \frac{Ca[K]_2}{Mg[K]_2} + H_2SO_4;$$

$$H[K] + NaHCO_3 \rightleftarrows Na[K] + H_2O + CO_2\uparrow;$$

$$H[K] + NaCl \rightleftarrows Na[K] + HCl;$$

$$2H[K] + Na_2SO_4 \rightleftarrows 2Na[K] + H_2SO_4.$$

Образующаяся при Н-катионировании углекислота может быть уда на дегазацией и в растворе остаются минеральные кислоты в кол ствах, эквивалентных содержанию сульфатов и хлоридов в исходн воде.

Из веденных ранее реакций для Na-катионитового метода умягчения воды видно, что щел ность воды в процессе ионного обмена не изменяется. Таким о азом, смешивая кислый фильтрат после Н-катион вых фильтров с щелочным фильтратом после Na-к нитных фильтров можно получить умягченную воду с раз й ч очностью. В этом заключается преимущество Н-, Na-катионитового метода умягчения воды.

Установ с Н-кати ванием применяют сравнительно редко, так как образующиес.. после них кислые воды находят ограниченное применение Их используют только для воды с карбонатной жесткостью

За последнее время большое распространение получили установки с п ллельным, последовательным и смешанным Н-, Na катионир ванием Схема умягчит ной установки с параллельным Н-, Na к нированием, включающая в себя Na- и Н катионитовые фил воритель, баки для раствора кислоты и растворов, предназначенные для взрыхления Na- и Н-катионитов, а также дегазатор с вентилятором для удаления CO_2, ы на рис. 109, *а*. В этих установках умягченная вода разд а два потока, один из которых направляется в Na-катионитовый, а другой в Н катионитовый фи тр. Об ующиеся ще е и кислые воды смешиваются в таки пропорц ии, чтобы ос ая щелочность их не превышала 0,5—1,0 *мг экв/л* После этого вода направляется в дегазатор Для получения у о и глубокого умягчения (<0,03 *мг-экв/л*) воду после дегазатора пропускают через Na-катион вый фильтр второй ступени. Схему параллельного Н , Na катионирования целесообразно использовать в тех случаях, когд центрация сульфатов и хлоридов в умягчаемой воде не пре т 3—4 *мг-экв/л* и натрия — 1—2 *мг экв/л*

Схема установки последовательного Н , Na катионирования, в которой часть умягчен й в н направляется в Н-ка нитовые фильтры, после чего образующуюся кислую воду см ивают с остальным количеством воды, поступающей на умягчение, приведена на рис 109, *б* Смесь с меньшей карбонатной жесткостью пропускают через дегазатор, где удаляется агрессивная углекислота, и затем фильтруют через Na-катионит. Подобное включение катионитных фильтров позволяет более полно использовать обменную спосо ность Н-кати нита и снизить расход кислоты на его регенерац , так как отк чение Н-катионитовых фильтров в данном случае определяется не по проскоку жесткости порядка 0,05 *мг-экв/л*, а по допустимой ее величине — 1,0 *мг-экв/л*. При повышенных требованиях к умягчению воды схема дополняется Na-катионитовыми фильтрами второй ступени. К недостатку схемы следует отнести большой расход электр энергии, затрачиваемой на проталкивание воды через последова ьно включенные фильт-

ры. Схему последовательного Н-, Na-катионирования используют при умягчении воды с повышенной жесткостью и со одержанием; остаточная щелочность при этом составляет приме,.. 0,7 *мг-экв/л*.

Существуют также схемы последовательного Н-, Na катиониро вания воды при «холодном» режиме регенерации Н-катионитовых фильтров В таких схемах весь поток умягчаемой воды последовательно проходит через Н-катионитовые фильт ры, рег уемые стехиометр м количеством кислоты, затем через дегазатор для удаления углекислоты и наконец через одну или две ступени Na-катионитовых филь тров Стехиометрический расчет режима регенерации Н-катионита предусматривает извлечение из воды лишь

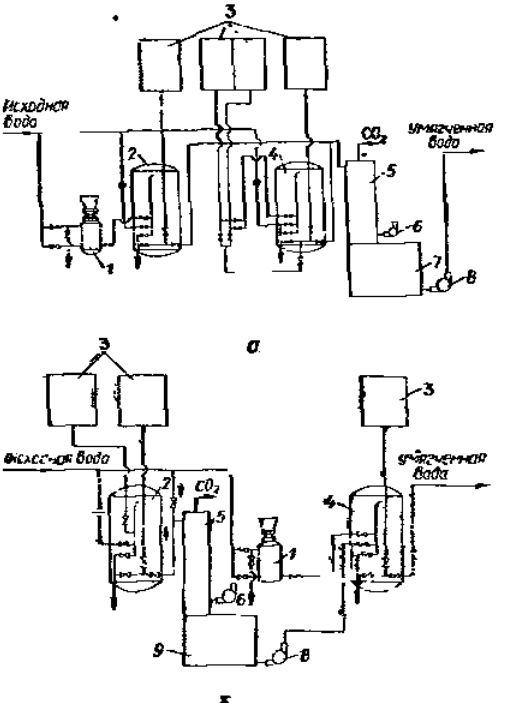


Рис. 109. Схемы установок для параллельного (*а*) и последовательного (*б*) Н-, Na-катионирования

1 — солерастворитель *2*, *4* — Н, Na-катионитовые фильтры, *3* — баки для раствора кислоты и воды для взрыхления загрузки фильтров, *5* — дегазатор, *6* — вентилятор *7* — сборный бак *8* — насос *9* — промежуточный бак.

карбонатной жесткости, некарбонатная жесткость удаляется на Na-катионите. По этой схеме отсутствуют кислые стоки и представляется возможным получить глубокоумягченную воду с остаточ щелочностью 0,7 *мг-экв/л*; ее можно использовать для обрасотки вод с солесодержанием до 2000—3000 *мг/л* при различной концентрации натрия, но величина карбонатной жесткости должна быть не меньше 1 *мг-экв/л*.

Водоумягчительные установки с совместным Н , Na-катионированием являются наиболее простыми в конструктивном отношении. Их схема приведена на рис. 110. Она включает в себя Н-, Na катионитовый фильтр, солерастворитель, а также баки для раствора кислоты и раствора, используемого для взрыхления катионита. Регенерацию катионита проводят в следующем порядке: после взрыхления слоя его обрабатывают сначала раствором кислоты, а затем поваренной солью с последующей отмывкой. При умягче-

нии воды по схеме совместного H-, Na-катионирования остаточная щелочность воды составляет 1,5—2,0 *мг-экв/л* и жесткость порядка 0,1—0,3 *мг-экв/л* В исходной воде жесткость должна быть не более 6 *мг экв/л*, содержание в ней натрия до 1—1,5 *мг-экв/л* и отношение карбонатной жесткости к некарбонатной больше единицы Преимуществом данной схемы является отсутствие кислых стоков, недо-

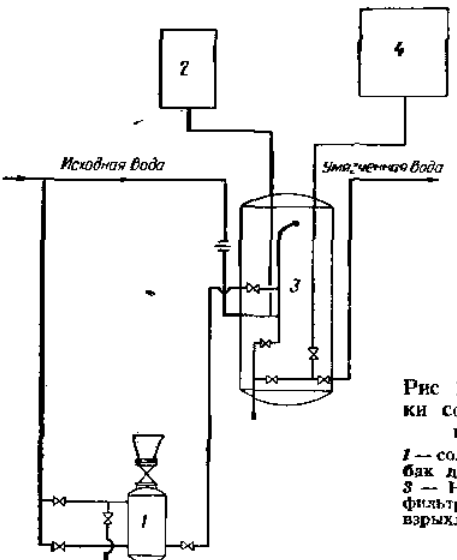


Рис 110 Схема установки совместного H , Na-катионирования

1 — солерастворитель, *2* — бак для раствора кислоты *3* — H , Na катионитный фильтр *4* — бак с водой для взрыхления загрузки фильтров

статком — сложность регенерации для получения верхнего слоя H-катионита и нижнего слоя Na-катионита

Таким образом, при п ктировании H-, Na-катионитовых уста новок применяют H катионитовые и Na-катионитовые фильтры перв й ступени, дегазаторы и Na-катионитовые фильтры второй сту и Рядом с установками устраивают склады для хранения поваренной соли и кислоты, а также оружения для нейтрализа- кислых сточных вод, полу при регенерации H-катио ов. Как и в случае Na-кат ния, такие установки применяют для умягчения подземных и поверхностных вод при содержании в них взв енных веществ не 5—8 *мг/л*. В тех случаях, когда не предъявляются строгие ания к жесткости умягченной воды или величине ее pH, то установки для H , Na-ка тио я можно проект вать без Na-ка овых фильтров вто ни При кругло очной работе ество H-катионит ых ьтров и Na-кат итовых фильт должно быть не менее двух, предусматри ся также один H катионитовый фильтр рез й, если их в устано меньше шести, и два, если их больше, овных Na-катиони ных фил ов не проектируют, но

предусматривают трубопроводы для регенерации двух-трех Н-катионитовых фильтров раствором поваренной соли с целью использования их в качестве Na-катионитовых фильтров

Подачу воды на Н катионитовые фильтры $q^{\text{Н}}_{\text{пол}}$ в *м³/ч* для различных схем ее обработки рассчитывают по следующим зависимостям

при параллельном Н-, Na-катионировании

$$q^{\text{Н}}_{\text{пол}} = q_{\text{пол}} \cdot \frac{\text{Щ} - a}{A + \text{Щ} - a}; \qquad (152)$$

при последовательном Н-, Na-катионировании

$$q^{\text{Н}}_{\text{пол}} = q_{\text{пол}} \cdot \frac{\text{Щ} - a_1}{\text{Щ} + b - a_1}, \qquad (153)$$

где $q_{\text{пол}}$ — полезная производительность установки в *м³/ч*;

Щ — щелочность обрабатываемой воды в *мг-экв/л*;

a — требуемая щелочность умягченной воды в *мг экв/л*;

A — суммарная концентрация в обрабатываемой воде анионов сильных кислот (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^- и др.) в *мг-экв/л*;

a_1 — задаваемая щелочность смешанной воды перед Na-катионитовыми фильтрами, обычно равна 0,7 *мг-экв/л*,

b — кислотность воды после Н катионитовых фильтров в *мг-экв/л*, средняя за цикл их работы при отключении на регенерацию в момент увеличения щелочности фильтрата до 0,35—1 *мг-экв/л*.

Количество воды, подаваемой на Na катионитовые фильтры, $q^{\text{Na}}_{\text{пол}}$ в *м³/ч* равно:

при параллельном Н-, Na катионировании $q^{\text{Na}}_{\text{пол}} = q_{\text{пол}} - q^{\text{Н}}_{\text{пол}}$.

при последовательном Н-, Na-катионировании $q^{\text{Na}}_{\text{пол}} = q_{\text{пол}}$.

При проектировании умягчительных установок необходимо производить расчет фильтров и трубопроводов по двум вариантам с учетом изменения состава воды по сезонам года

наибольшая нагрузка приходится на Na-катионитовые фильтры, когда щелочность воды и концентрация анионов сильных кислот (A) мала,

наибольшая нагрузка приходится на Na-катионитовые фильтры, когда щелочность воды (Щ) малая и концентрация анионов сильных кислот (A) большая.

Объем катионита на Н катионитовых фильтрах ($W_{\text{Н}}$) и Na-катионитовых фильтрах (W_{Na}) в *м³* определяют по формулам:

$$W_{\text{Н}} = \frac{24 q^{\text{Н}}_{\text{пол}} (Ж_0 + C_{\text{Na}})}{n E^{\text{Н}}_{\text{раб}}}, \qquad (154)$$

$$W_{\text{Na}} = \frac{24 q^{\text{Na}}_{\text{пол}} Ж_0}{n E^{\text{Na}}_{\text{раб}}}, \qquad (155)$$

где: $Ж_0$ — общая жесткость обрабатываемой воды в *мг-экв/л*,

n — число регенераций каждого фильтра в сутки, принимается в пределах 1—3;

C_{Na} — концентрация в воде ионов Na^+ в *мг-экв/л*, она равна $(Na^+)/23$, где (Na^+) — содержание ионов Na^+ в *мг/л*;

$E^{Na}_{раб}$ — рабочая обменная емкость Na-катионита в *г-экв/м³*, вычисляется по формуле (149),

$E^{H}_{раб}$ — рабочая обменная емкость Н-катионита в *г-экв/м³*.

Последнюю величину определяют из зависимости

$$E^{H}_{раб} = \alpha_H E_{пол} - 0{,}5 q_y C_к, \qquad (156)$$

где α_H — коэффициент эффективности регенерации Н-катионита;

$E_{пол}$ — полная обменная емкость катионита в *г-экв/м³*, принимается в соответствии с паспортом или по данным табл. 48.

q_y — удельный расход воды на отмывку катионита после регенерации, принимается в пределах 4—5 *м³* на 1 *м³* катионита,

$C_к$ — суммарное содержание в воде катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ и т. д.) в *г-экв/л*

Величина коэффициента α_H зависит от удельного расхода кислоты при регенерации, его значение можно определить, используя следующие данные (рис 111):

Удельный расход серной кислоты на регенерацию в *г/г-экв*	50	100	150	200
α_H	0,68	0,85	0,91	0,92

Площадь Н-катионитовых и Na-катионитовых фильтров F_H и F_{Na} в *м²* определяют, используя зависимости.

$$F_H = \frac{W_H}{H}; \qquad (157)$$

$$F_{Na} = \frac{W_{Na}}{H}, \qquad (158)$$

где H — высота слоя катионита в *м*.

Расход 100%-ной кислоты $P_к$ в *кг* на регенерацию Н-катионита рассчитывают по формуле

$$P_к = \frac{fHE^{H}_{раб}\, b}{1000}, \qquad (159)$$

где f — площадь одного Н-катионитового фильтра в *м²*;

b — удельный расход кислоты в *г/г-экв*

Жесткость фильтрата после Н кати фильтров зависит от удельного расхода кислоты и соли ния исходной воды [10].

Расход кислоты на «голодную» регенерацию Н-катионитовых фильтров при последовательном Н, Na катионировании составляет 50 *г/г-экв* удаляемой из воды карбонатной жесткости При таком режиме принимается обменная емкость сульфоугля.

Щелочность обрабатываемой воды *мг-экв/л*	До 1,5	1,5—3	3—4
Обменная емкость в *г-экв/м³*	200	250	300

При «голодной» регенерации жесткость фильтрата $Ж_ф^н$ в *мг-экв/л* после Н-катионитовых фильтров определяют по формуле

$$Ж_ф^н = [Cl^-] + [SO_4^{2-}] + Щ_{ост} - [Na^+], \qquad (160)$$

где $[Cl^-]$, $[SO_4^{2-}]$, $[Na^+]$ — соответственно содержание в умягчаемой воде ионов хлоридов, сульфатов и натрия в *мг-экв/л*,

$Щ_{ост}$ — остаточная щелочность фильтрата Н-катионитовых фильтров (0,7—0,1 *мг-экв/л*).

Рассчитывая объем катионита для последующего Na катионирования воды, прошедшей Н катионитовые фильтры с «голодной» регенерацией, в формуле (155) общую жесткость исходной воды $Ж_0$ принимают равной $Ж_ф^н$, определяемой из зависимости (150).

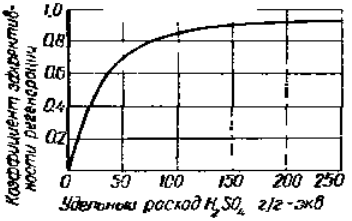


Рис 111. График для определения коэффициента эффективности регенерации Н-катионита.

В схемах последовательного Н-, Na-катионирования обязательно предусматривается подвод неумягченной воды в поток фильтрата Н-катионитовых фильтров перед дегазатором. Это позволяет в случае регенерации их избыточным количеством кислоты устранить попадание кислой воды на Na-катионитовые фильтры.

При проектировании Н-, Na-катионитовых установок скорость фильтрации умягчаемой воды и потерю напора на Н-катионитовых фильтрах, а также интенсивность взрыхления слоя Н-катионита принимают такие же, как и для Na катионитовых установок (см. стр. 272).

Регенерацию Н *катионита на фильтрах производят* 1—1,5%-ным раствором серной кислоты, при соответствующем экономическом обосновании допускается применять для этих целей также и соляную кислоту; скорость пропускания регенерационного раствора через слой катионита — не менее 10 *м/ч*. Отмывка осуществляется пропусканием через катионит сверху вниз неумягченной воды со скоростью 10 *м/ч* до тех пор, пока щелочность фильтрата не сравняется со щелочностью исходной воды. Первая половина отмывочной воды сбрасывается в стоки, а вторая собирается в бак и используется для взрыхления слоя катионита.

Сухой остаток в воде после одно или двухступенчатого Na-катионирования с подкислением всегда больше сухого остатка в умягчаемой воде, при Н-катионировании он снижается. Его величина C в *мг/л* может быть вычислена по формулам [35]:

а) при обработке умягчаемой воды коагулянтами

$$C = 0{,}25\,Орг + 71{,}04\left[\frac{(SO_4^{2-})}{48{,}03} + K + K_1\right] + 58{,}45\,\frac{(Cl^-)}{35{,}46} + 85\,\frac{(NO_3^-)}{62} + 61\,\frac{(SiO_3^{2-})\cdot 0{,}75}{38{,}03} + 40Щ_{ост}; \quad (161)$$

б) без предварительной коагуляции

$$C = Орг + 71{,}04\left[\frac{(SO_4^{2-})}{48{,}03} + K_1\right] + 58{,}45\,\frac{(Cl^-)}{35{,}46} + 85\,\frac{(NO_3^-)}{62} + 61\,\frac{(SiO_3^{2-})\cdot 0{,}75}{38{,}03} + 40Щ_{ост}, \quad (162)$$

где Орг — органическая часть сухого остатка исходной воды в *мг/л*,

$(SO_4^{2-}),(Cl^-),(SiO_3^{2-}),(NO_3^-)$ — концентрация соответствующих анионов в воде в *мг/л*;

K; K_1 — количество коагулянта и серной кислоты, вводимых в обрабатываемую воду, в *мг-экв/л*,

$Щ_{ост}$ — остаточная щелочность умягченной воды в *мг-экв/л*.

§ 69. Оборудование водород-, натрий-катионитовых установок

Катионитовые фильтры, напорные, вертикальные, серийно выпускаемые нашей промышленностью, представляют собой металлические цилиндрические резервуары со сферическими днищами, рассчитанные на рабочее давление 6 *кг/см²* [10, 79, 136]. Они оснащены набором трубопроводов и арматуры, обеспечивающих нормальную эксплуатацию. Схема катионитового фильтра приведена на рис. 112, габариты фильтров даны в гл. XVIII, § 93.

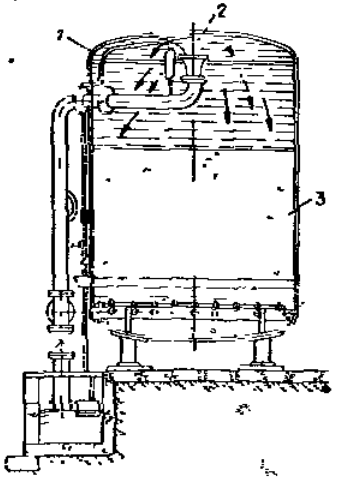
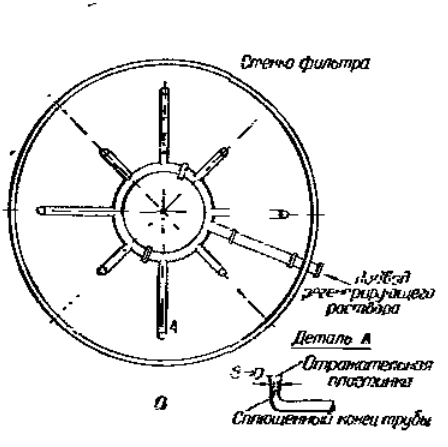


Рис. 112. Схема катионитового фильтра.
1 — корпус, *2* — сборная воронка, *3* — слой катионита, *4* — коллектор и дренажные трубы.

Умягчаемая вода поступает через воронку в верхнюю часть фильтра, здесь же расположено и устройство для равномерного распределения регенерирующего раствора. Через воронку также подается отмывочная вода и отводится вода, применяемая для

взрыхления слоя катионита. Распределительное устройство выполняется в виде кольцевой трубы с отверстиями, направленными под углом 45° вверх или в виде радиальных трубок различной длины с загнутыми вверх сплющенными концами и отражательными пластинками (рис. 113, *а*). Применяют также устройства с отверстиями, направленными вниз, но под каждым из них укрепляется отражательная пластинка (рис. 113, *б*).



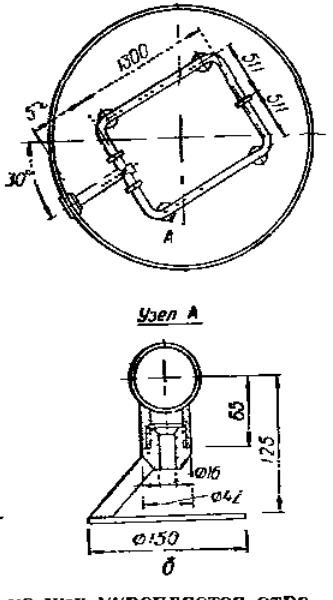


Рис. 113. Устройства для равномерного распределения регенерирующего раствора: *а* — с радиальными трубами, *б* — с кольцевой трубой.

Умягченную воду отводят через дренажную систему, расположенную в нижней части фильтра, ее используют для подвода воды на взрыхление слоя катионита, а также для выпуска регенерационного раствора и отмывочной воды. Дренажная система (рис. 114)



Рис. 114. Дренажное устройство катионитового фильтра.

1 — коллектор, *2* — ответвление, *3* — цементная подливка, *4* — бетон, *5* — калиброванная щель для пропуска воды.

имеет трубчатые ответвления с отверстиями в верхней части, они перекрыты желобом, образующим с поверхностью трубы щель шириной 0,5 *мм*. Аналогичное устройство имеют и катионитовые фильтры второй ступени, однако размеры их несколько иные (см. гл. XVIII, § 93).

Описанные конструкции фильтров применяют для Na- и H-катионирования воды, но в H-катионитовых фильтрах внутренние поверхности защищают покрытиями, коррозийно стойкими в кислой среде Дренажные и распределительные устройства также изготовляют из материалов, устойчивых в кислых средах.

На рис 115 приведена схема противоточного катионитового фильтра с гидравлически зажатой загрузкой, разработанного МОЦКТИ[1] Он отличается от ранее описанных выше конструкций тем, что умягчаемая вода поступает в нижнюю часть фильтра — междудонное пространство; посредством дренажных колпачков, закрепленных в ложном днище, она равномерно распределяется в слое катионита. Умягченная вода отводится из верхней части фильтра через трубчато колпачковый дренаж, помещенный в слое катионита Этот дренаж используют также для подвода отмывочной воды, которая затем удаляется через нижнюю дренажную систему. Распределительное устройство для подачи регенерационного раствора размещено в верхнем слое катионита, регенерация производится без предварительных взрыхляющих промывок. Противоточные Na-катионитовые фильтры диаметром 3040 *мм* и общей высотой 6600 *мм* при высоте загрузки 4700 *мм* выпускаются в настоящее время серийно [137]

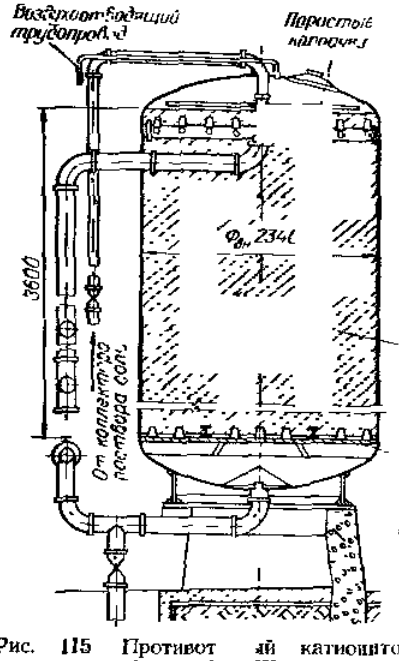


Рис. 115 Противоточный катионитовый фильтр МОЦКТИ

Схема открытого Na катионитового фильтра разработанного ГПИ Водоканалпроект, приведена на рис. 116, такие фильтры применяют для одноступенчатого катионирования на станциях производительностью более 500 *м*³/*ч* [138]

При проектировании водоумягчительных станций для дозирования и транспортирования кислот с концентрацией более 80% можно применять арматуру и трубопроводы из обычной стали, при меньшей концентрации — из кислотостойких материалов, солепроводы изготовляют из обычной стали.

Для удаления углекислоты из воды после H-катионирования, а также из смешанной воды после H, Na-катионирования применя-

[1] Московское отделение Центрального котлотурбинного института.

ют *дегазаторы* с кольцами Рашига 25×25×3 *мм* или с деревянной хордовой насадкой из брусков Высота слоя насадки подбирается по табл 49 в зависимости от содержания углекислоты в воде, подаваемой в дегазатор [21]

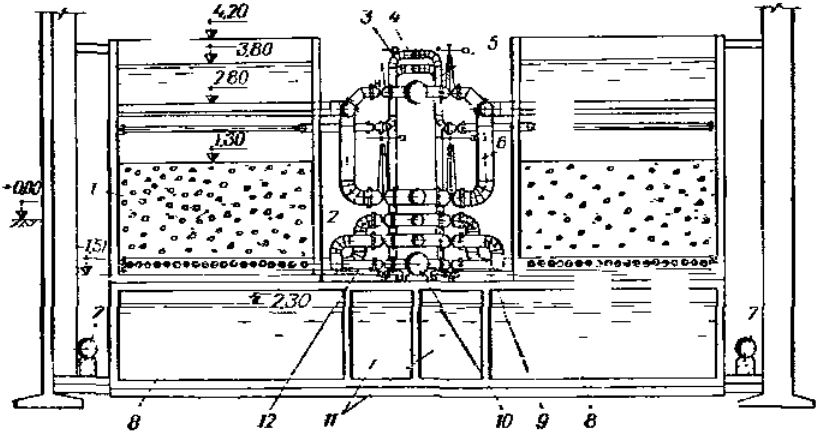


Рис 116 Открытый Na-катионитовый фильтр:

1 — Na катионит *2* подача воды для взрыхления загрузки фильтра *3* — подача 2% ного раствора соли *4* — подача 7% ного раствора соли *5* — подача умягчаемой воды *6* — отвод воды после взрыхления загрузки фильтра *7* — всасывающие линии отмывочных вод, *8* — резервуар для 2% ного раствора соли, *9* — отвод отработанных отмывочных вод *10* — отвод умягченной воды *11* — резервуар для 7% ного раствора соли, *12* — трубопровод для опорожнения фильтра

Концентрация углекислоты в воде, поступающей на дегазатор $(CO_2)_у$ *в мг/л*, вычисляется по формуле

$$(CO_2)_у = (CO_2)_{исх} + 44Щ, \qquad (163)$$

где $(CO_2)_{исх}$ — концентрация свободной углекислоты в исходной воде в *мг/л*,

Щ — щелочность умягчаемой воды в *мг-экв/л*.

Таблица 49 *Высота слоя насадки в дегазаторе при удалении углекислоты*

Высота слоя насадки в *м*	Содержание CO_2 в воде перед дегазатором в *мг/л*					
	50	100	150	200	250	300
Для колец Рашига	3,0	4,0	4,7	5,1	5,5	5,7
Для деревянной хордовой насадки	4,0	5,2	6,0	6,5	6,8	7,0

Площадь поперечного сечения дегазатора рассчитывают по допустимой плотности орошения:

При загрузке кольцами Рашига 60 *м³/ч* на 1 *м²*
При деревянной хордовой насадке 40 » »

Вентилятор к дегазатору подбирают, исходя из условия подачи 20 $м^3$ воздуха на 1 $м^3$ обрабатываемой воды. Развиваемый им напор определяют на основании учета сопротивления насадки:

Для колец Рашига . . . 30 *мм вод ст* на 1 *м* высоты слоя
Для деревянной хордовой насадки 10 » » »
Все другие сопротивления принимают равными 30—40 *мм вод ст*

Конструкции типовых дегазаторов приведены в гл XI, § 56.

На малых водоумягчительных установках с расходом поваренной соли меньше 0,5 *т/сутки* ее можно хранить в сухом виде, нормы расчета складов соли приведены в гл. II, § 8. Для приготовления регенерационного раст а с кол ей 8— ользуют напорные *солерастворители* проточного типа Они обой алличе кие цилинд , р рвуары вумя полусферическими днищами, рассчитанные на рабочее да о 6 *кг/см²* (рис 117) В нижней ча солерастворителя укреплено дренажное устройство в виде коробки со щелями у основания Над ним расположены гравийные подстилающие слои с уменьшаю-



Рис 117 Схема солерастворителя.
1 — подача воды *2* — воронка *3* — вставной стакан; *4* — корпус, *5* — выход рассола *6* — дренажное устройство; *7* — выпуск в канализацию, *8* — люк

щимся к верху размером зерен, на которые загружается поваренная соль в количестве, необходимом для одной регенерации. Фракционный состав гравийных слоев следующий

Размер гравия в *мм*	Высота слоя в *мм*
5 —10	200
5 —2,5	100
2,5—1	200

Для загрузки соли используется воронка, в которую при открытой за ижке вста ается стакан, в рабочем состоя и задви ка закры тся Верх я съемная крышка и лаз в сер ине ко са позволяет вести наблюдения за состоянием внутренних поверхностей Размеры солерас рителей промышленного изготовления приведены в гл XVIII (с 381).

Концентрация раствора соли, выходящего из проточного солерастве теля, неблагоприятна для регенерации Na-катионитовых фильт (см. гл XIII, § 68) — вначале она большая и по мере ств ния соли падает Поэтому иногда раствор соли из солерастворителя направ т в отдельный бак, где поддерживают концен ацию рассола в пределах 7—10%, затем при регенерации его ра вляют При больших расходах соли приме т мокрое хранение, при котором поступающую на водоумягчительную станцию поваренную соль засыпают в большую емкость и заливают водой.

Объем баков для мокрого хранения соли $W_{м.х}$ в $м^3$ рассчитывают по формуле

$$W_{м.х} = \frac{Q Ж_0 m a}{b 10^4 \gamma}, \qquad (164)$$

где Q — расход воды на Na катионитовые фильтры в $м^3/сутки$;

$Ж_0$ удаляемая при Na-катионировании жесткость воды в $г\text{-}экв/м^3$,

m — число дней хранения запаса соли, обычно 20—40,

a — удельный расход соли на регенерацию катионита в $г$ на 1 $г\text{-}экв$ поглощенной жесткости (см стр 272);

b — концентрация раствора, обычно равна 20—25%.

γ — плотность раствора соли.

Если соль доставляют по железной дороге, то баки должны вмещать соль, загруженную в вагон, и воду для ее растворения.

По приведенной формуле на 1 $т$ поваренной соли необходимо 5—6 $м^3$ емкости бака Для сокращения его объема можно хранить соль не в виде раствора, а в замоченном состоянии, необходимая при этом емкость составляет 2—2,5 $м^3$ на 1 $т$ соли.

Схема солевого хозяйства водоумягчительной установки приведена на рис. 118, она состоит из резервуаров, кварцевых фильтров, расходомеров для осветленного рассола и насосов Железобетонные баки-хранилища обычно располагают вне здания с некоторым загл[illegible]лением в грунт и перекрывают дощатыми щитами При одно[illegible]зном расположении мокрых хранилищ их помещают *параллельно стене умягчительной станции, в случае двухрядного* размещения между ни[illegible]ус[illegible]ивается железнодорожная колея, а также оборудуется [illegible]ос[illegible] станция с насосами и воздуходувками. Для ускорения растворения соли применяют перемешивание воздухом, циркуляцию рассола или сочетают оба спо[illegible]а, при низкой температуре окружающей среды желательно [illegible]именять подогретую воду. На дне емкостей-хранилищ прокладывают лоток или сборную дырчатую трубу и ограждают коробом с отверстиями,

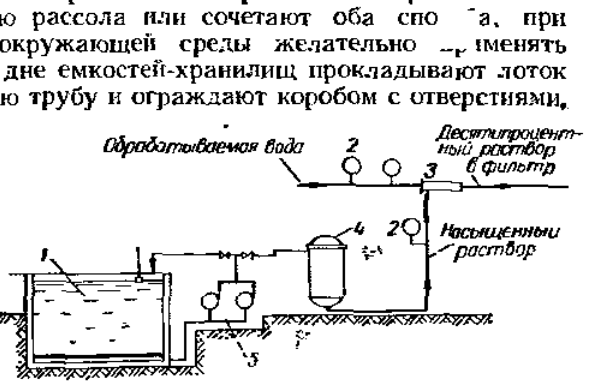


Рис 118. Схема солевого хозяйства для регенерации Na-катионитовых фильтров

1— резервуар для соли и воды, *2* расходомеры, *3*— смеситель, *4* кварцевый фильтр, *5*— насосы

который обсыпают гравием или щебнем крупностью от 30—40 до 3—4 *мм*, это позволяет освободить рассол от грубодисперсных примесей. Более полно раствор поваренной соли осветляется на кварцевых фильтрах Рекомендуется применять открытые фильтры со скорост[illegible]фильтрования 4—5 *м/ч* при толщине слоя песка 0,6—0,8 *м* (к[illegible]ть зерен 1—1,5 *мм*). Осветленный концентриро-

ванный раствор соли собирается в бак из двух отделений, используемых в качестве мерников. Целесообразно производить по у... р...тола на катионитовые ... эжект...ом, одновремен... про... и ...дя разбавление до ну... центр... и. При этом на ...убопроводе эжектирующей воды (давление не менее 4—4,5 *атм*) устанавливается расходомер, а за эжектором автоматический концентратомер.

При водород-натриевом методе умягчения воды станция оборудуется также *кислотным хозяйством*, которое должно обеспечи-

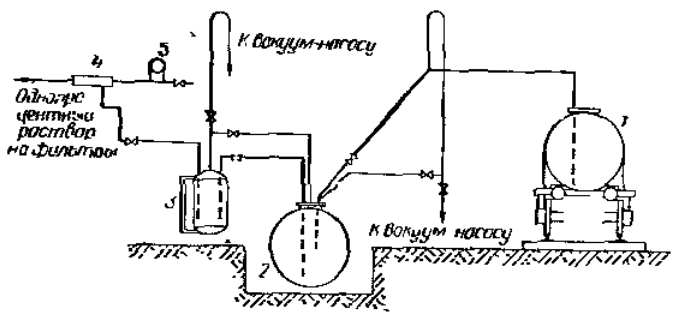


Рис 119 Схема кислотного хозяйства для регенерации Н-ка тионитовых фильтров

1 — железнодорожная кислотная цистерна *2* — цистерна хранилище *3* — мерник кислоты *4* — эжектор, *5* — расходомер для воды

вать месячный запас реагента. В связи с тем, что железнодорожные цистерны, в которых поставляется серная кислота, имеют грузоподъемность до 50—60 *т* (емкость при плотности 1,8 составляет 28—33 $м^3$), объем хранилищ должен обеспечивать их опорожнение. Схема кислотного хозяйства приведена на рис. 119. Она состоит из цистерн хранилищ, мерников для концентрированной кислоты и вакуум-нас...в. Серную кислоту переливают из железнодорожных цистерн в цистерны-хранилища сифоном, который заряжается вакуум насосом. Под вакуумом кислота поступает в мерник и затем эжектором подается на Н-катионитовый фильтр с одновременным разбавлением до 1—1,5%. Перед эжектором устанавливается расходомер для воды, после ... — кон...тратомер для кислоты.

Объем цистерн для хран... ...ной ки...оты $W_ц$ и полезную емкость мерника $W_м$ в $м^3$ определяют по формулам [28]:

$$W_ц = 0.6024 - \frac{q_в Ж_0 a m}{b\gamma}, \qquad (165)$$

$$W_м = \frac{q_в Ж_0 a}{10^4 b \gamma n}, \qquad (166)$$

где $q_в$ — расход воды на Н-катионитовые фильтры в $м^3/ч$;

$Ж_0$ — общая жесткость исходной воды в *мг-экв/л*;

a — удельный расход кислоты на регенерацию катионита в *г/г-экв*;

m — число дней хранения запаса кислоты;
b — концентрация серной кислоты принимается 90—92%;
γ — плотность кислоты принимается по табл. 14 (стр. 35),
t — время работы фильтров между регенерациями в *ч*,
n — число рабочих фильтров

Габариты и конструктивные особенности цистерн, вытеснителей и мерников, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в гл. XVIII (стр. 383).

При проектировании установок с применением серной кислоты необходимо избегать схем, в которых бы кислота находилась или транспортировалась под давлением.

Объем баков для регенерационного раствора поваренной соли $W_{п.с}$ и серной кислоты $W_к$ в $м^3$ в том случае, если предусмотрено их разбавление до фильтров, рассчитывают по формулам [28]

$$W_{п.с} = 20\frac{P_{п.с}}{1000}; \qquad (167)$$

$$W_к = 65\frac{P_к}{1000}, \qquad (168)$$

где $P_{п.с}$ и $P_к$ — соответственно расход соли и кислоты на регенерацию (см. формулы 150, 159).

Бак для воды, используемой при взрыхлении слоя катионита, рассчитывают на последовательное проведение этой операции в двух фильтрах. Объем его $W_в$ в $м^3$ определяют по формуле

$$W_в = 2\frac{wft_в \cdot 60}{1000} = 0{,}12wft_в, \qquad (169)$$

где w — интенсивность взрыхления катионита в $л/м^2 \cdot сек$ (см. стр. 272),
$t_в$ — продолжительность взрыхления в *мин* (см. стр. 272);
f — площадь одного фильтра в $м^2$.

Бак располагают таким образом, чтобы его дно было на 4 *м* выше сборной воронки фильтра.

Расход воды на собственные нужды Н-, Na-катионитовых установок слагается из потребления воды на следующие технологические операции: приготовление регенерационных растворов соли и кислоты, взрыхление катионита в фильтрах перед регенерацией и отмывку катионита после регенерации. На эти цели используют осветленную, не умягченную воду, ее поступление на катионитовую установку Q в $м^3/сутки$ должно быть равно

$$Q = Q_у + Q_1 + Q_2 + Q_3, \qquad (170)$$

где $Q_у$ — полезная производительность установки по умягченной воде,
Q_1, Q_2, Q_3 — соответственно расход воды на приготовление регенерационных растворов, взрыхление и отмывку катионита.

При повторном использовании отмывочной воды для взрыхления фильтров расход воды на собственные нужды сокращается на величину Q_2.

Расчетный расход воды для приготовления растворов поваренной соли Q_1 и серной кислоты Q_1 равен в *м³/сутки*

$$Q_1 = \frac{nn_1 f H E^{Na}_{раб} a 100}{1000 \quad 1000b}; \qquad (171)$$

$$Q_1' = \frac{nn_1 f H E^{H}_{раб} a_1 \quad 100}{1000 \quad 1000b_1}, \qquad (172)$$

где n и n_1 — число соответственно Na и H-катионитовых фильтров и регенераций каждого фильтра в сутки,

f и H — площадь фильтра в *м²* и высота в *м* загрузки его катионитом,

$E^{H}_{раб}$ и $E^{Na}_{раб}$ — рабочая обменная емкость соответственно H- и Na катионита в *г-экв/м³* (см. формулы 149, 156);

a и a_1 — удельный расход соли и кислоты в *г* на 1 *г-экв* удаляемой жесткости (см. стр. 272 и 279);

b — средняя концентрация регенерационного раствора соли, принимаемая в пределах 5—8%,

b_1 — средняя концентрация регенерационного раствора кислоты, принимаемая в расчетах равной 1%

Расход воды на взрыхление катионита Q_2 в *м³/сутки* определяют по формуле

$$Q_2 = 0{,}06nn_1 fwt, \qquad (173)$$

где t — продолжительность взрыхления, принимается равной 15 *мин*,

w — интенсивность взрыхления, принимается в зависимости от крупности зерен катионита в пределах 3—4 *л/м²·сек*.

Расход воды на отмывку катионита Q_3 в *м³/сутки* рассчитывают по формуле

$$Q_3 = nn_1 fHc, \qquad (174)$$

где c — удельный расход отмывочной воды, принимается в пределах 4—5 *м³* на 1 *м³* катионита

При регенерации H-катионитовых фильтров образуются кислые стоки. *Нейтрализацию* их можно производить известковым молоком, доломитовой или магнезитовой крошкой. До ование известкового молока производят по показаниям pH метра, электроды его устанавливаются в лотке, по которому отводятся сточные воды из бака нейтрализатора Более простая установка получается, если бак-нейтрализатор загрузить доломитовой или магнезитовой крошкой с ер мером зерен 0,5—2 *мм* и слоем не менее 0,7 *м* Кислые стоки ают через дренажную систему щелевых винипластовых труб и поднимаются вверх через крошку к сборному лотку, скорость восходящего потока воды не должна превышать 20 *м/ч*.

§ 70. Примеры расчетов установок для умягчения воды

Пример 1. Рассчитать установку для реагентного умягчения воды производительностью 12000 *м³/сутки.*

Анализ воды следующий

Жесткость общая	14 *мг-экв/л*
» карбонатная	10 »
» некарбонатная	4 »
Мутность воды	30 *мг/л*
Мутность воды в паводок	500 »
Содержание в воде свободной углекислоты CO_2	127 »
Концентрация иона кальция Ca^{2+}	230 »
» иона магния Mg^{2+}	30 »

Требования к очищаемой воде жесткость 2 *мг-экв/л*, мутность 5 *мг/л*.

Расчет производим только для умягчительной установки

При отсутствии данных по умягчаемости воды расход реагентов при известково-содовом способе можно ориентировочно рассчитать по уравнению реакций.

Расчетная доза извести определяется по формуле (142)

$$Д_и = 28\left[\frac{127}{22} + 10 + \frac{30}{12} + \frac{42}{54} + 0{,}5\right] \approx 550 \text{ мг/л}.$$

Принятая в примере доза коагулянта (42 *мг/л*) при отсутствии опытных данных ориентировочно может быть определена по формуле (144) Но прежде необходимо определить общее количество взвесей, образующихся при умягчении воды. Это можно сделать, применяя формулу (146).

$$C = 500 + 50\left[14 + 10 + \frac{127}{22} + 0{,}5\right] + 29 \cdot \frac{30}{12} + 550\left(\frac{100-50}{100}\right) = 2362{,}5 \text{ мг/л},$$

где необходимая доза хлорного железа

$$Д_к = 3\sqrt[3]{2362{,}5} \approx 40 \text{ мг/л},$$

мг сверх принятой дозы 42 *мг/л*. Расчетная доза соды (в расчете на Na_2CO_3) определяется по формуле (143) при условии, что эквивалентный вес активного вещества коагулянта ($FeCl_3$) $e = 54$

$$Д_с = 53\left[4 + \frac{42}{54} + 1\right] = 307 \text{ мг/л}.$$

На очистных станциях указанной в примере производительности приготовление известкового молока производится на механизированной установке.

При проектировании установки необходимо предусматривать: бункер для приема извести, дробилку, известегасильное устройство, классификатор, баки для известкового молока с устройством, обеспечивающим непрерывное перемешивание, и средства для

транспортирования сухой извести и известкового молока. Суточный расход реагентов на очистку и умягчение воды составит.

извести, содержащей 50% CaO,

$$G_и = \frac{12\,000 \cdot 550}{0{,}5 \cdot 1000} = 13\,200 \text{ кг} = 13{,}2 \text{ т},$$

соды, содержащей 95% Na_2CO_3,

$$G_с = \frac{12\,000 \cdot 307}{0{,}95 \cdot 1000} \approx 3900 \text{ кг} \cong 3{,}9 \text{ т};$$

хлорного железа, содержащего 98% $FeCl_3$, при дозе 42 *мг/л*

$$G_к = \frac{12\,000 \cdot 42}{0{,}98 \cdot 1000} = 515 \text{ кг} \cong 0{,}52 \text{ т}.$$

Пример 2 Рассчитать Na-катионитовую установку производительностью 1200 *м³/сутки*. Жесткость умягчаемой воды 3,0 *мг-экв/л*, концентрация Na в ней 0,5 *мг-экв/л* Для загрузки фильтра применяют сульфоуголь с размером зерен $d_{80} = 1$ *мм*. Допустимая жесткость умягченной воды не должна превышать 0,2 *мг-экв/л*. При проектировании фильтров принимаем:

Число регенераций в сутки	2
Толщину слоя катионита на фильтрах	2,0 *м*
Расход соли на регенерацию	200 *г/г-экв*

Принимаем установку с одной ступенью Na-катионитовых фильтров, обеспечивающих остаточную жесткость 0,03—0,05 *мг-экв/л*, что ниже заданной допустимой жесткости фильтрата 0,2 *мг-экв/л*. Используя формулу (149), находим обменную способность загруженного катионита. При этом принимаем:

$$\alpha_э = 0{,}81;\ \beta_{Na} = 0{,}80;\ E_{пол} = 570;\ q_{ул} = 5 \text{ м}^3$$

тогда $E^{Na}_{раб} = 0{,}81 \cdot 0{,}80 \cdot 570 - 0{,}5 \cdot 5 \cdot 3 = 362{,}3$ *г-экв/м³*.

Величины $\alpha_э$, β_{Na} и 570 взяты из данных, приведенных на стр 268 и 261

Объем катионита в фильтрах определяем по формуле (148)

$$W_к = \frac{24 \cdot 1200 \cdot 3}{24 \cdot 2 \cdot 362{,}3} \approx 5 \text{ м}^3.$$

Площадь катионитовых фильтров определяем по формуле (151)

$$F = 5 : 2{,}0 = 2{,}50 \text{ м}^2.$$

Принимаем три рабочих и один резервный фильтр диаметром 1000 *мм* и площадью фильтрования 0,8 *м²* Расход технической поваренной соли на регенерацию Na-катионитового фильтра рассчитываем по формуле (150):

$$P_{т.с} = \frac{0{,}8 \cdot 2{,}0 \cdot 362{,}3 \cdot 200}{1000} \cong 116 \text{ кг}.$$

Пример 3. Рассчитать H-катионитовые фильтры умягчительной установки, работающей по схеме параллельного H-, Na-катониро-

вания. Производительность установки 50 *м³/ч* (1200 *м³/сутки*). Анализ исходной воды в *мг-экв/л*:

Жесткость	3
Щелочность	2,5
Концентрация натрия	0,5
Суммарная концентрация анионов сильных кислот	2
Щелочность умягченной воды	0,5

Производительность Н-катионитовых фильтров рассчитываем по формуле (152)

$$q_{\text{пол}}^{\text{Н}} = 50 \cdot \frac{2{,}5 - 0{,}5}{2 + 2{,}5} = 22{,}2 \ м^3.$$

Объем катионита на Н-катионитовых фильтрах определяем по формуле (154)

$$W_{\text{Н}} = \frac{24 \cdot 22{,}2\,(3 + 0{,}5)}{2 \cdot 483{,}25} = 1{,}93 \ м^3.$$

Необходимая площадь Н-катионитовых фильтров равна

$$F_{\text{н}} = \frac{W_{\text{н}}}{h_{\text{к}}} = \frac{1{,}93}{2} = 0{,}965 \ м^2.$$

Принимаем три рабочих фильтра и один резервный диаметром 700 *мм* с площадью фильтрования 0,38 *м²*

ГЛАВА XIV

ОПРЕСНЕНИЕ И ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ

§ 71. Общие сведения о процессах опреснения и обессоливания

Процесс удаления солей из воды в зависимости от степени их извлечения называется опреснением или обессоливанием. При опреснении воды концентрацию растворенных солей доводят до предела, близкого к содержанию их в пресных водах, при обессоливании — до содержания их в дистиллированной воде.

Опреснение воды применяют при получении воды, пригодной для хозяйственно питьевых нужд с использованием засоленных или сильноминерализованных естественных вод (морская, грунтовая вода в засушливых районах). Обессоливание используют для получения питательной воды для котлов высокого давления и прямоточных, а также для некоторых производств.

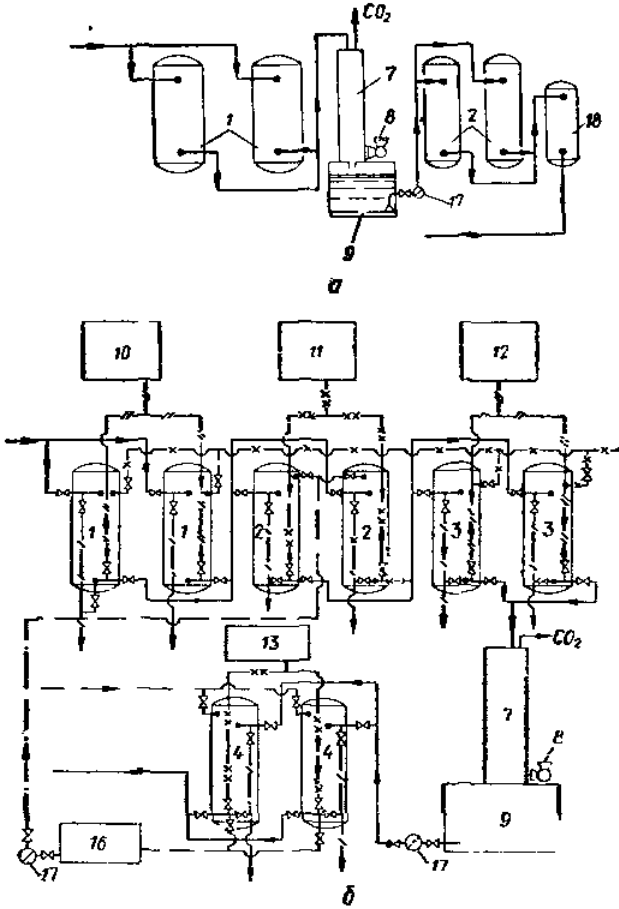
Опреснить или обессолить воду можно удалением из воды солей или извлечением самих молекул воды [1,139]

К первой группе методов относятся:

химические — ионный обмен, осаждение растворенных соединений;

электрохимические — электродиализ, электролиз растворенных солей с поглощающими электродами;

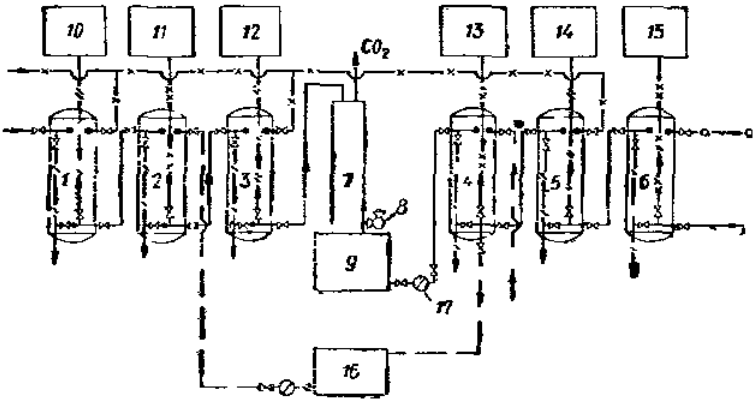
осмотические — обратный осмос (гиперфильтрация), ионоосмос;



Условные обозначения

- обессоливаемая вода,
- раствор кислоты на регенерацию Н-катионитовых фильтров;
- раствор едкого натра на регенерацию анионитовых фильтров,
- сброс в канализацию,
- раствор едкого натра на повторное использование,
- на взрыхление анионитовых фильтров,
- на взрыхление анионитовых фильтров,
- раствор аммиака

Вода, поступающая на ионообменные установки для опреснения и обессоливания, должна удовлетворять следующим требованиям: солесодержание — до 3000 *мг/л*, взвешенных веществ — не более 8 *мг/л*, цветность — не выше 30 *град* и окисляемость — до 7 *мг/л* O_2; при большей окисляемости необходимо предусматривать в технологической схеме фильтр с активированным углем. Последняя опе-



в

Рис 120 Схемы установок для ионитного обессоливания воды.

а — одноступенчатая, *б* — двухступенчатая, *в* — трехступенчатая. *1, 3* и *5* — соответственно *Н-катионитовые фильтры* первой, второй и третьей ступеней; *2, 4* и *6* — соответственно анионитовые фильтры первой, второй и третьей ступеней, *7* — дегазатор, *8* — вентилятор, *9* — промежуточный резервуар, *10, 11, 12, 13, 14, 15* — баки с водой для взрыхления ионитов в фильтрах первой, второй и третьей ступеней, *16* — бак для повторного использования раствора едкого натра, *17* — насосы, *18* — буферный *Na*-катионитовый фильтр в одноступенчатой схеме.

рация весьма ответственна, так как основной причиной значительного снижения обменной способности анионита является необратимая сорбция органических веществ из воды. В качестве адсорбентов для удаления органических веществ из воды применяют (на основе предварительных технологических исследований) активированный уголь АГ-3, АГ-4, АГ-5, БАУ, КАД, а также макропористые иониты ИА-1п, АВ-17-8п, АВ-171 и др. Устанавливают их перед обессоливающим оборудованием или, что более целесообразно, после Н-катионитовых фильтров перед анионитовыми фильтрами

Таблица 51. *Обменная кремнеемкость анионитов*

Анионит	Обменная способность в *г-экв/м³* при истощении анионита до „проскока" в фильтрат SiO_3^{2-}			Минимальное остаточное содержание SiO_3^{2-} в *мг/л*
	0,1	0,5	1,0	
ЭДЭ-10П	30	60	80	0,04
АВ 17	420	530	560	0,05

В зависимости от требуемой степени обессоливания проектируются одно-, двух и трехступенчатые схемы установок. Во всех случаях для удаления из воды ионов металлов применяют сильнокислотные Н-катиониты с большой обменной способностью [35].

Воду опресняют в одноступенчатых ионитных установках, в которых ее последовательно пропускают через группу фильтров с Н-катионитовым и группу фильтров со слабоосновным анионитом (рис. 120, *а*); углекислота удаляется в дегазаторе, устанавливаемом после катионитовых фильтров или после анионитовых фильтров, если они регенерируются раствором соды или бикарбоната. При непрерывной работе установки количество фильтров в каждой группе должно быть не менее двух. Через ионитовую установку пропускают лишь часть воды так, чтобы после смешения ее с остальной водой получить в обессоленной воде солесодержание, отвечающее требованиям потребителя. Для хозяйственно-питьевых целей оно должно составлять 500—1000 *мг/л*, при концентрации хлоридов не более 350 *мг/л* и сульфатов — до 500 *мг/л*. В расчетах остаточное солесодержание при одноступенчатой схеме ионирования можно принимать равным в *мг/л*:

При солесодержании исходной воды 4000 *мг/л*	До 150
То же 2000 » . . .	До 25
» 1500 » . . .	До 15

Для получения воды с общим солесодержанием до 1 *мг/л* и одновременным обескремниванием ее до 0,2 *мг/л* применяют установки с двухступенчатой схемой Н- и ОН-ионирования. Если же концентрация солей в воде должна быть доведена до 0,1 *мг/л* и содержание кремнекислоты — до 0,05 *мг/л*, то используют схему трехступенчатого Н- и ОН-ионирования.

Установки с двухступенчатой схемой обессоливания воды состоят из Н-катионитовых фильтров первой ступени, анионитовых фильтров первой ступени со слабоосновным анионитом, дегазатора для удаления углекислоты, Н-катионитовых фильтров второй ступени, анионитовых фильтров второй ступени с сильноосновным анионитом, барьерных Н-катионитовых фильтров с загрузкой, обладающей высокой емкостью по щелочи, например, катионитом КБ-4 (рис. 120, *б*). Н-катионитовые фильтры первой ступени отключают на регенерацию по проскоку ионов жесткости, второй ступени — по проскоку ионов натрия; анионитовые фильтры первой ступени задерживают ионы сильных кислот, второй ступени — кремнекислоту и недесорбированную в дегазаторе углекислоту, барьерные фильтры снижают расход воды на отмывку анионитовых фильтров второй ступени.

При трехступенчатой схеме обессоливания воды вместо барьерного фильтра используют фильтр со смешанной загрузкой катионита и анионита или Н-катионитовые фильтры третьей ступени и за ними анионитовые фильтры третьей ступени с сильноосновным анионитом (рис. 120, *в*). Третья ступень Н-катионирования предназначена для удаления из воды небольших количеств ионов натрия, попадающих в нее при плохой отмывке сильноосновного анионита, третья ступень анионирования используется для удаления из воды продуктов растворения и разрушения катионитов, а также для повышения степени использования анионита на фильтрах второй ступени.

Фильтр со смешанной катионитовой и анионитовой загрузкой отличается от обычного наличием у его дна системы для подвода сжатого воздуха и [illegible] межуточной распределительной системы на границе раздела катионит-анионит. Для его загрузки используются хорошо отсортированные иониты (например, АВ-17 и КУ 2) Зерна катионита должны быть несколько больше, чем анионита, так чтобы при взрыхлении и последующем постепенном снижении подачи воды он оса[illegible]лся внизу, а сверху располагался слой анионита При регенерации раствор кислоты подают через нижнее дренажное устройство и отводят через промежуточную распределительную систему. Одновременно для того, чтобы кислота не попала в анионит, через него с[illegible]эху вниз пропускают обессоленную воду, отводя ее также че[illegible]эмежуточную систему Отмывку катионита совмещают с рег[illegible]дией анионита, при этом раствор щелочи подают через верхнее распределительное устройство, расположенное над слоем анионита, и отводят через промежуточную распределительную систему Обессоленную воду для отмывки катионита подводят так же, как и раствор кислоты Затем производится отмывка анионита, после чего иониты в фильтре перемешивают сжатым воздухом и производят окончательную отмывку ионитов В этом виде фильтр представляет собой множество как бы сдвоенных катионит-анионитовых фильтров, применяемых в схемах обессоливания воды

При проектировании ионитовых установок для опреснения и обессоливания воды расчет Н-катионитовых фильтров первой ступени производят по ранее пр[illegible]ным формулам и [illegible]тмостям (см гл XIII, стр. 277) Уста[illegible] выключают на рег[illegible]дию при снижении кислотности на 20% максимальной, регенерируют кислотой с расходом 70—75 *г/г-экв* Расчет Н-катионитовых фильтров второй и третьей ступеней производят, принимая:

Скорость фильтрования	50—60 *м/ч*
Высоту слоя катионита	1,5 *м*
Емкость [illegible]ощения сульфоугля и КУ-1	200 *г-экв/м³*
Емкость [illegible]ощения КУ-2	700—800 *г экв/м³*
Удельный расход 100%-ной серной кислоты	100 *г* на 1 *г-экв* поглощенных катионов
Время регенерации и отмывки фильтров	3 *ч*
Расход воды на отмывку катионита	10 *м³* на 1 *м³* катионита

Целесообразно воду после отмывки Н-катионитовых фильтров второй ступени использовать для взрыхления слоя катионита в фильтрах первой ступени, а также приготовления регенерационного раствора кислоты.

При проектировании анионитовых фильтров первой ступени площадь фильтрования F в $м^2$ рассчитывают по формуле

$$F = \frac{Q}{nTv_p} \qquad (175)$$

где Q — полезная производительность установки в *м³/сутки*,

n — число регенераций анионитовых фильтров в сутки, принимается ~ зным 2—3,

T — продол. ельность работы фильтров между регенерациями в *ч*,

$v_р$ — расчетная скорость фильтрования в *м/ч*.

Величины T и $v_р$ определяют по формулам:

$$T = \frac{24}{n} - t_1 - t_2 - t_3; \qquad (176)$$

$$v_р = \frac{HE - 5HC_0}{TC_0 + 0{,}02E \ln C_0 - 0{,}1C_0 \ln C_0}, \qquad (177)$$

где t_1 — продолжительность взрыхления анионита, принимается 0,25 *ч*;

t_2 — продолжительность пропускания через анионит регенерационного раствора, принимается 1,5 *ч*,

t_3 — продолжительность промывки анионита после регенерации, принимается 3 *ч*,

H — высота слоя анионита в фильтре в *м*,

E — обменная емкость анионита по паспортным данным, для анионитов АН-2Ф, ЭДЭ-10П и АВ-17, ее можно принимать равной 900—1000 *г-экв/м*^{3};

C_0 — суммарное содержание ионов SO_4^{2-}, Cl^- в обрабатываемой воде в *мг-экв/л*

Для регенерации анионитовых фильтров первой ступени применяют кальцинированную соду; удельный расход — 100 *г* Na_2CO_3 на 1 *г-экв* погл ~ нных анионов, концентрация регенерационного раствора, приготовленного на водород-катионирован ~ воде, 4%.

Отмы ~ анионитовых фильтров первой ступени после регенерации ~ водят также водород-катионированной водой, расход ее составляет 10 *м*^{3} воды на 1 *м*^{3} анионита.

При ~ проект ~ ~ анионит ~ ~ ~

Для анионита ЭДЭ-10П следует предусматривать ступенчатую регенерацию — сначала 0,2—0,5%-ным раствором, затем — 1,5—2%-ным. Анионит АВ-17 регенерируется 4%-ным раствором едкого натра.

При расчете анионитовых фильтров третьей ступени среднее содержание кремнекислоты после фильтров второй ступени прини-

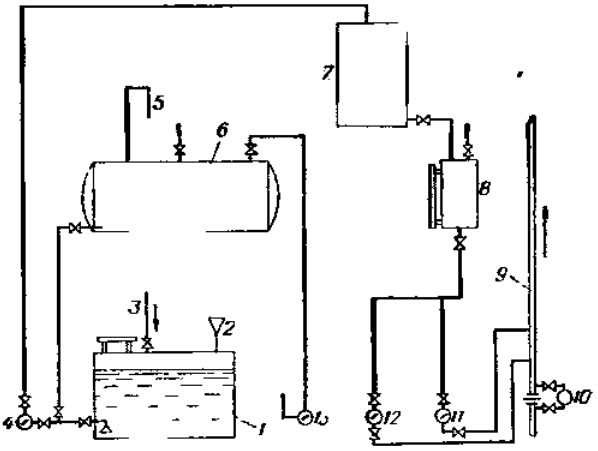


Рис. 121 Схема едконатрового хозяйства обессоливающей установки
1 — бак для растворения или приема раствора едкого натра *2* — воронка, *3* — подвод воды *4, 12* — ...сосы, *5* — сифон, *6* — ц... рна хранилище конце... рованного раствора, *7* — расходный бак *8* — мерник *9* — трубопровод для разбавления, *10* — расходомер для воды, *11* — на... сос-дозатор, *13* — вакуум насос.

мается равным 0,1 *м/ч*, скорость фильтрования составляет 40—50 *м/ч*. Расчетная кремнеемкость анионита ЭДЭ-10П — 2,5—3,0 *г-экв/м*^{3}. Приготовление регенерационного раствора едкого натра и отмывка анионита после регенерации производятся на обессоленной воде после анионитовых фильтров второй ступени. Удельный расход едкого натра равен 2000 *г* на 1 *г-экв* поглощенной кремнекислоты, длительность регенерации составляет 3 *ч*.

Отличительной особенностью установок с анионитовыми фильтрами наличие оборуд... я для приготов...ия растворов кали... ...линой соды, бик... ...ата натрия и е... го натра. Допускается использование отработанных растворов едкого натра после регенерации анионитовых фильтров второй ступени для регенерирования слоя анионита на фильтрах первой ступени. При этом регенерирующий реагент будет один — едкий натр. На рис. 121 приведена примерная схема едконатрового хозяйства обессоливающей установки с использованием как твердого продукта, так и его концентрированного раствора [28].

§ 73. Опреснение воды электродиализом

Электропроводность растворов электролитов (проводников второго рода), к которым относятся и природные воды, обусловлена перемещением ионов Опреснение воды электродиализом (электрохимическое опреснение) основано на том, что при пропускании через нее постоянного тока катионы движутся к катоду, а анионы — к

ным средам — платина, платинированный титан, графит, магнетит. Для питания электрод[illegible]изных ванн используют выпрямленный ток напряжением до [illegible] *в* Сами ванны можно размещать так, чтобы ось электрического поля была горизонтальной или вертикальной. Однако выход дивлизата и [illegible]сола необходимо располагать в верхней части для лучшего отвода газов, выделяющихся при нагреве электролита и разложении бикарбонатов Выделяющийся на аноде хлор может использоваться для обеззараживания опресненной воды.

Метод электродиализа целесообразно применять для опреснения воды с солесодержанием от 2500 до 15000 *мг/л*, получая воду с содержа[illegible]м солей не ниже 500 *мг/л*. В ванну может подаваться вода со сл[illegible]ющими качественными показателями:

Взвешенные вещества	Не более 2 *мг/л*
Цветность	» 20 *град*
Окисляемость	» 5 *мг/л* O_2
Железо .	» 0,1 *мг/л*

Электродиализные опреснительные установки разделяются на прямоточные и циркуляционные В одноступенчатых (рис. 123, *а*) и многоступенчатых (рис. 123, *б*) прямоточных установках заданное опреснение воды происходит в процессе ее протекания через ячейки ванны. В циркуляционных установках опресняемая вода пропускается через ячейки ванны, до тех пор пока солесодержание в ней не снизится до заданной величины, они могут быть порционного (рис. 124, *а*) и непрерывного (рис. 124, *б*) действия.

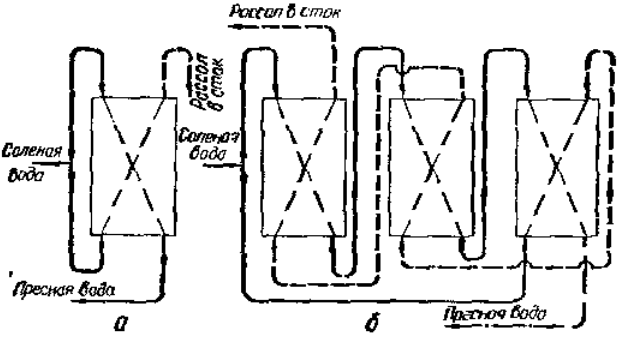


Рис. 123. Схема прямоточной электродиализной установки
а — одноступенчатой, *б* — многоступенчатой.

Разработанная ВНИИ ВОДГЕО и Гипроводхозом электродиализная опреснительная циркуляционная порционная установка имеет пр[illegible]льность до 125 *м³/сутки*. Она состоит из двух ванн с го[illegible]но расположенной осью электрического поля, смонтированных из 200 пар ионитовых мембран размером 1500×500 *мм*. Камеры — прокладочного типа, рамки — из паровита толщиной 0,8—1 *мм*, турбулизирующая прокладочная сетка из по-

ливинилхлорида; катоды и аноды — графитовые. Для устранения отложений карбоната кальция и гидроокиси магния в рассольных камерах и в катодном пространстве предусмотрено подкисление рассола до pH-4 и периодическое переключение полярности элект-

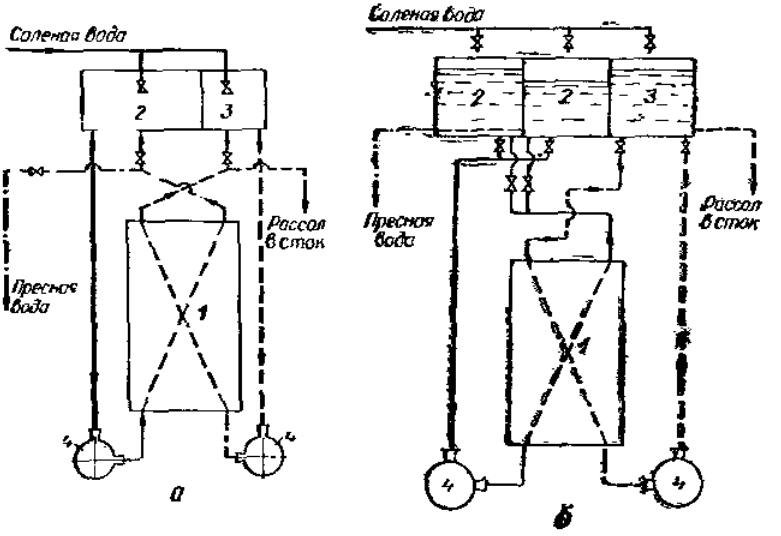


Рис 124 Схема циркуляционной электродиализной установки:
а — порционной, *б* — непрерывного действия, *1* — ванна; *2* — рабочие баки; *3* — баки для рассола, *4* — насосы для рассола и дилюата.

родов с одновременным переключением трактов диализата и рассола.

При расчете электродиализных аппаратов учитывают, что рабочая ячейка состоит из двух мембран—катионитовой и анионитовой и двух камер — диализатной и рассольной. Количество рабочих ячеек в установке для опреснения воды $n_{общ}$ подсчитывают по формуле

$$n_{общ} = \frac{26{,}8qAC}{i_{расч}F_{н}\eta}, \qquad (179)$$

где q производительность установки в $м^3/ч$;

ΔC снижение концентрации солей в опресняемой воде в *мг-экв/л*;

$i_{расч}$ — оптимальная расчетная плотность тока в $а/см^2$;

$F_н$ — расчетная площадь (нетто) мембраны в $см^2$,

η — выход по току принимается не менее 0,8.

Количество ячеек n в каждом из электродиализаторных аппаратов не должно быть более 200—250. Исходя из этого, число параллельных аппаратов N в опреснительной установке циркуляционного типа и каждой ступени установки прямоточного типа равно

$$N = \frac{n_{общ}}{n} \qquad (180)$$

Для циркуляционных установок $\Delta C = C_и - C_к$, где $C_и$ — содержание солей в исходной воде, $C_к$ — солесодержание опресненной воды; для прямоточных установок $\Delta C = C_{вх} - C_{вых}$, где $C_{вх}$ — концентрация солей в диализате, входящем в аппарат любой ступени (для первой ступени, равная содержанию солей в исходной воде), $C_{вых}$ — концентрация солей в диализате, выходящем из той же ступени (для последней ступени равная солесодержанию опресненной воды) В смежных ступенях прямоточной установки $C_{вых} = C_{вх}$.

Оптимальную расчетную плотность тока $i_{расч}$, находят из технико-экономического сравнения различных вариантов Ее величину для электродиализных апп[illegible] «[illegible]дочного» типа при $l = 110 \div 120$ *см* и $d = 0{,}1$ *см* оп[illegible]ют [illegible]л. 54 [21]

Таблица 54 *Оптимальная плотность тока в электродиализаторах прокладочного типа*

Солесодержание исходной воды в *г/л*	Стоимость		Расчетная оптимальная плотность тока в *а/см²*	
	электроэнергии в *коп/квт ч*	мембран в *руб/м²*	для циркуляционной установки	для первой ступени многоступенчатой установки
15	1	6	0,008	0,032
		12	0,012	0,042
	2	6	0,006	0,023
		12	0,008	0,032
7,5	1	6	0,007	0,022
		12	0,009	0,031
	2	6	0,005	0,016
		12	0,007	0,022
2,5	1	6	0,006	0,015
		12	0,008	0,021
	2	6	0,004	0,011
		12	0,006	0,015

Примечание. Расчет произведен для камер с прокладками-сепараторами из поливинилхлорида, изготовленными методом просечки-вытяжки, для плетеных капроновых прокладок-сепараторов расчетную оптимальную плотность тока необходимо уменьшить на 10%.

Расчетные оптимальные плотности тока по ступеням прямоточной установки должны изменяться по следующему отношению

$$\frac{i_{расч}}{i_2} = \frac{i_2}{i_3} = \frac{i_3}{i_4} = \ldots = \frac{1}{a}. \qquad (181)$$

Коэффициент снижения концентрации диализата a определяется из выражения

$$\lg \frac{1}{a} = 4{,}5 \cdot \frac{ln}{k'd}, \qquad (182)$$

где l — путь, проходимый диализатом в камере аппарата в *см*:

d — толщина слоя диализата, равная расстоянию между мембранами, в *см*,

k' — коэффициент, учитывающий деполяризационные свойства прокладок сепараторов, для полихлорвиниловых, изготовленных методом просечки-вытяжки, равен $k'=2\cdot10^4$, для капроновых плетеных $k'=3\cdot10^4$.

Напряжение на электродах электродиализных аппаратов определяют по формуле

$$U = U_э + nE_м + i_{расч}F_н n r_{яч}, \qquad (183)$$

где $U_э$ — падение напряжения на электродах, принимается в пределах 3—5 *в*,

$r_{яч}$ — сопротивление ячейки в *ом*;

$E_м$ — мембранный потенциал ячейки в *в*;

остальные обозначения прежние.

С учетом концентрационной поляризации мембранный потенциал ячейки может быть вычислен по формуле

$$E_м = \varphi + \psi \lg \frac{C_р}{C_д}, \qquad (184)$$

где φ и ψ — коэффициенты, зависящие от температуры:

t°C	1	5	10	16	18	20	25	30
φ	0,084	0,086	0,087	0,089	0,090	0,091	0,093	0,095
ψ	0,079	0,080	0,081	0,083	0,084	0,085	0,086	0,088

$C_р$ — расчетная концентрация рассола в *мг-экв/л*, принимается в 3—4 *раза больше солесодержания исходной воды*,

$C_д$ — расчетная концентрация диализата в *мг-экв/л*

Расчетные концентрации диализатов в аппарате любой ступени прямоточной многоступенчатой установки $C_д$ и аппарате циркуляционной установки $C_д$ определяются по формулам

$$C_д = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{2{,}3 \lg \frac{C_{вх}}{C_{вых}}}, \qquad (185)$$

$$C_д = \frac{C_н - C_к}{2{,}3 \lg \frac{C_н}{C_1}}. \qquad (186)$$

Обозначения использованные в формулах, приведены выше

При расчете концентрата *рассола необходимо проверить возможности увеличения концентрации солей в исходной воде в 3—4 раза*. Проверку производят по содержанию в ней кальция и сульфатов, произведение их активных концентраций при увеличении солесодержания воды не должно превышать произведения растворимости сульфата кальция при температуре рассола в аппарате.

Омическое сопротивление ячейки рассчитывают по формуле

$$r_{яч} = \frac{1}{F_н}\left(\frac{d\delta}{\varkappa_д} + \frac{d\delta}{\varkappa_р} + 2\rho\right), \qquad (187)$$

где $\varkappa_д$ и $\varkappa_р$ — удельные электропроводности диализата и рассола в $ом^{-1} \cdot см^{-1}$,

ρ — среднее удельное поверхностное сопротивление мембран в $ом \cdot см^2$ (см. табл. 53),

δ — коэффициент увеличения сопротивления камеры сепаратором или ячейкой,

при толщине прокладочных камер $d = 0{,}1$ *см* для сепараторов из поливинилхлорида, изготовленных методом высечки вытяжки — 1,54, для плетеных сепараторов из капрона — 1,48.

Удельную электропроводность исходной воды при 18°С — $\varkappa_{18}$ определяют при ее химическом анализе. При отсутствии данных для диализата и рассола их расчетные удельные электропроводности могут быть вычислены по формуле

$$\varkappa_{18} = \frac{C^{\beta}}{8300}, \qquad (188)$$

где C — концентрация солей в диализате или рассоле в *мг-экв/л*,

β — коэффициент, зависящий от отношения содержания сульфатов в *мг экв/л* к общему количеству анионов в *мг-экв/л*, его определяют на основании следующих данных

$SO_4^{2-}/\Sigma A$	0,02	0,2—0,4	0,4—0,6	0,6—0,8	0,8—1,0
β	0,940—0,920	0,920—0,895	0,895—0,870	0,870—0,840	0,840—0,810

За счет джоулева тепла диализат и рассол нагреваются примерно на 0,5—1,0°С при однократном прохождении через электродиализатор, что необходимо учитывать при расчете их электропроводности. Для определения расчетной удельной электропроводности при температуре t°С используют формулу

$$\varkappa_t = \varkappa_{18}[1 + 0{,}02(t - 18)]. \qquad (189)$$

При монтаже оборудования электрохимической опреснительной установки все соединительные трубопроводы выполняют из полиэтиленовых труб, а арматуру из коррозионно устойчивых материалов. Вентиляцию в помещении электродиализных аппаратов проектируют так же, как и в хлорных (см. стр. 211). Если производительность установки превышает 10 $м^3/ч$, то электросиловое оборудование и контрольно измерительные приборы размещают в отдельном помещении, изолированном от помещения электродиализных аппаратов.

§ 74. Опреснение и обессоливание воды дистилляцией

Метод опреснения и обессоливания воды путем испарения — наиболее старый, но он и до настоящего времени является самым распространенным способом получения пресной воды [139]. Сущ-

ность его заключается в нагреве соленой воды до температуры кипения, в переводе ее в пар и последующей конденсации пара с получением чистой воды. Расход тепла при этом складывается из тепла нагрева воды до температуры кипения, зависящей от солесодержания и давления, а также тепла фазового перехода воды в пар — так называемой скрытой теплоты парообразования При конденсации пара у него необходимо отнять тепло фазового перехода.

По использованию тепла и степени рекуперации тепла фазового перехода испарительные установки разделяют на одноступенчатые, многоступенчатые и термокомпрессионные (рис. 125). В простейшей из них острый пар из котла поступает в греющий элемент испарителя и, конденсируясь, обусловливает образование пара из обессоливаемой воды. Этот вторичный пар, проходя через конденсатор и превращаясь в воду, подогревает поступающую в испаритель соленую воду Конденсаты первичного и вторичного пара, практически не содержащие солей, сливаются в сборник и подаются потребителю При использовании для хозяйственно-питьевых целей к ним добавляют некоторое количество исходной воды

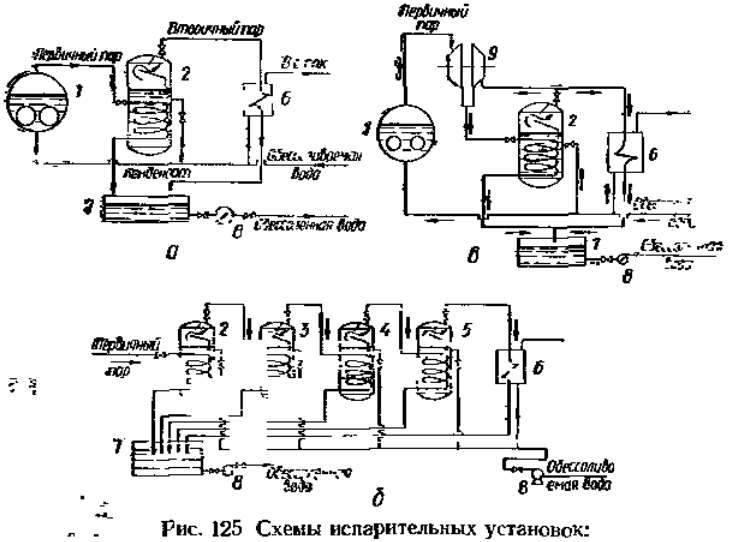


Рис. 125 Схемы испарительных установок:

а — одноступенчатая, *б* — многоступенчатая, *в* — с термокомпрессором *1* — котел, *2, 3, 4, 5* — первая вторая и т д ступени испарительной установки *6* — поверхностный охладитель *7* — сборный бак *8* — насосы, *9* — термокомпрессор

В многоступенчатой испарительной установке вторичный пар, образующийся в 1 ступени, является греющим паром второй ступени и т. д. С ременно температура и давление пара от ступени к ступени ижаются. Конденсаты пара со всех ступеней поступают в сборник, и обессоленная вода используется потребителем. В термокомпрессионных испарителях температура пара, обра-

зовавшегося из соленой воды, повышается при сжатии его в компрессоре или в паровом инжекторе. Такой пар поступает в греющий элемент испарителя, где, конденсируясь, обусловливает образование пара из соленой воды, кипящей под вакуумом вследствие непрерывного отсоса пара вакуум компрессором. Для запуска испаритель[illegible] и используется стационарный котел

По с[illegible] дачи тепла различ[illegible] следующие типы испарителей: пленочные, с погруженными греющими трубками, с естествен[illegible]ной или прину[illegible]й цирк[illegible]ряемой воды, а[illegible] (мгн[illegible]кипания), гигроскопические, термодиффузионные и с ги[illegible]бным теплоносителем. В пл[illegible]чных испа[illegible]ях соленая вода стекает с [illegible]льшой скоростью по вертикальным греющим трубкам, что [illegible]словливает высокий коэ[illegible]циент теплопе[illegible]дачи. В испарителях с по[illegible]руженными в испа[illegible]мую воду змеевиковыми греющими трубками, например, испарителях типа ИКВ [illegible]0/6м, [illegible]сыщаемая вода циркулирует медл[illegible]ю, теп[illegible]отдача вследствие этого протекает слабо и парообразо[illegible]ие происходит с мал[illegible]ью. Испарители с естественн[illegible], к которым относятся применяемые на электростанциях испарители ИВС, имеют подвесную греющую секцию с вертикальными трубками, что обеспечивают циркуляцию за счет разницы плотностей пароводяной эмульсии в греющих трубках и воды в опускной трубе.

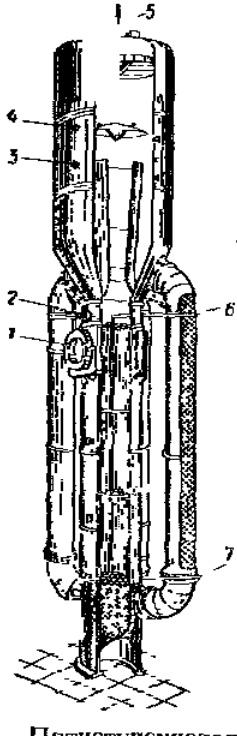


Рис. 126. Испаритель с [illegible]ой кипения опресни[illegible]вительной ус[illegible]вченко

1 — греющий пар; *2* — соленая вода; *3* — сброс рассола; *4* — ввод затравки; *5* — вторичный пар; *6* — воздух; *7* — дистиллят.

Пятиступенчатая опреснительная установка с вертикальнотрубными испарителями построена в г. Шевченко, ее производительность 13600 *м³/сутки*. Внешний вид одного из элементов этой установки приведен на рис. 126. Такие элементы имеют вынесенную зону кипения с заглубленными под уровень испаряемой воды греющими тр[illegible]ками для сн[illegible]ения накипеобразования. Пр[illegible]щение отло[illegible]ия на повер[illegible]стях теплопе[illegible]дачи карбон[illegible] накипи достигается также добавлением в соленую воду молотого мела с частицами размером 20—40 *мк*. Эта затравка пр[illegible] с испаряемой водой по всем ступеням установки, в специа[illegible] отстойнике отделяется от рассола, сбрасываемого из последней ступени, и возвращается в первый ко[illegible]ус вместе с исходной водой. По[illegible]хность нагрева в *м²* испарите[illegible] в установке равна 13500, конд[illegible]са-

торов — 3600 и подогревателей морской воды — 2080, выход пресной воды составляет 3,5 *т* на 1 *т* греющего пара, расход тепла — 0,131 *Гкал/т*.

Интенсивность теплообмена в испарителях с принудительной циркуляцией увеличивают путем повышения скорости движения *воды за счет применения для этих целей насоса. Отличи:* ьной особенностью описанных в литературе адиабатных испар. ..лей, часто называемых испарителями с мгновенным вскипанием (типа «Флеш»), является то, что вода в них испаряется в камере, куда насосом вбрызгивается нагретая соленая вода Давление в ней поддерживают ниже, чем давление насыщения пара при температуре, которую имеет поступающая вода. Гигроскопические испарители работают при атмосферном давлении, и пар, образующийся при вскипании разбрызгиваемой насосом воды, переносится в конденсатор потоком циркулирующего в системе воздуха. В термодиффузи- с ях арителях на гор ной оси у плены диски из хор _о т топроводных ма _ _ Они вр. ются со скоростью 50—60 *об/мин* и в нижней части испарителя проходят через нагретую испаряемую воду, а вверху между і скими, охлаждаемыми изнутри конденсаторами. Пар, конденсиру..сь на их поверхности, отдает тепло циркулирующей в системе соленой воде Применение в соответствующих конструкциях испарителей для передачи тепла гидрофобных теплоносителей (парафин, минеральные масла и др.) *позволяет осуществлять глубокое у ..живание соленой воды без* затруднений, вызываемых накипеобразо ванием. Один из вариантов таких испарителей разработан ВНИИ ВОДГЕО [139].

В последнее время шир е возможности для опреснения воды создает использование те і ядерных энергетических установок. На первой в мире двухцелев ' рной водоэле юстанции, строящейся в г. Шевченко для опр ия воды Кас ского моря, применен реактор на быстрых нейтронах с тепловой мощностью 1000 *Мвт* Блок опреснителей на таких станциях обычно компонуется из многоступенчатых адиабатных испарителей

ГЛАВА XV

УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА И КРЕМНЕКИСЛОТЫ

§ 75. Железо, марганец и кремнекислота в природных водах и методы их удаления

Железо в природных водах встречается в виде ионов двух- и трехвалентного железа, в виде органических комплексных соединений железа, в виде органических и неорганических соединений железа, находящихся в коллоидном состоянии или в виде тонкодисперсных взвесей (гидраты окисного и закисного железа, сульфиды железа, с нокомплексы железа и др.). В поверхностных водах железо содержится главным образом в органических комплексах (гуматы), а также коллоидно- и тонкодисперсных взвесей

неорганических и органических соединений. В *подземных водах при* отсутствии растворенного кислорода железо обычно находится в виде двухвалентных ионов. Концентрация железа в подземных водах в большинстве случаев не превышает 10 *мг/л*.

Марганец в природных водах содержится, как правило, в меньших концентрациях, чем железо, и встречается реже. В подземных водах, не содержащих растворенного кислорода, он находится в виде двухвалентных ионов, в поверхностных высокоцветных водах — в виде органических соединений, в том числе и в коллоидном состоянии.

При контакте подземных железо- и марганецсодержащих вод с воздухом происходит окисление закисных ионов этих металлов с образованием водных окисей в коллоидно-дисперсном состоянии. *Наиболее интенсивно процесс окисления протекает для железа при* $pH>7$ и для марганца при $pH>9$

Кремний присутствует в природных водах в виде минеральных и органических соединений. Выщелачивание силикатных пород обогащает природные воды кремниевой кислотой и ее солями. Кремниевая кислота является очень слабой и диссоциирует на ионы в незначительной степени. При $pH<7$ в воде находится только недиссоциированная кремнекислота, часть ее может присутствовать в коллоидном состоянии в виде $SiO_2 \cdot H_2O$ или в виде полимерной кислоты $xSiO_2 \cdot yH_2O$, а при $pH>8$ в воде могут находиться ионы $HSiO_3^-$. Наибольшее количество кремнекислоты встречается в подземных водах. Содержание ее в воде поверхностных источников меньше, это объясняется тем, что соли кремния являются питательными веществами для многих организмов, населяющих открытые водоемы.

Все, соединения железа, марганца и кремния, не вредны для человека. Однако при наличии в воде железа и марганца наблюдается неприятный чернильный или железистый привкус, такая вода не пригодна для хозяйственно-питьевых целей и для ряда производств (пищевые, текстильные, искусственных волокон, кинопленки и др.). Железосодержащие воды при pH меньше 7—7,5 могут обусловить развитие в трубопроводах железобактерий, колонии которых образуют на стенках труб бугристые отложения, сужающие их сечение и пропускную способность. По стандарту для хозяйственно-питьевой воды содержание железа не должно превышать 0,3 *мг/л*. При санитарно-гигиенической оценке воды в ней учитывается наличие кремнекислоты. Однако для некоторых производств (вискозы, капролактама и др.), а также при питании котлов высокого давления содержание ее в воде лимитируется.

При выборе методов удаления из воды железа следует учитывать, что окисные соединения его, находящиеся в виде коллоидно- и тонкодисперсных *взвесей, хорошо удаляются при обычной коагуляции* примесей. Поэтому обезжелезивание поверхностных вод производят одновременно с их осветлением и обесцвечиванием коагулянтами. В тех случаях, когда в воде открытых источников водо-

снабжения содержится закисное железо, допускается проводить дополнительное аэрирование воды, в ряде случаев оно может быть заменено хлорированием повышенными дозами Для обезжелезивания подземных вод применяют аэрацию, обработку воды перманганатом или хлором в сочетании с аэрацией или без нее. После осуществления каждого из этих процессов, обеспечивающих окисление закисных соединений железа с выделением водной окиси железа, предусматривается фильтрование воды. Железо удаляют из воды катионированием, если одновременно необходимо и ее умягчение При этом полностью исключают контакт обрабатываемой воды с воздухом для предупреждения окисления ионов закисного железа. Возможно также обезжелезивание воды при фильтровании ее через слой пиролюзита, «черного песка» или песка с окислами железа, являющихся катализаторами окисления закисных форм железа [129, 140—152].

Для удаления из воды марганца используют те же методы, что и при обезжелезивании воды. Обычно соединения марганца выделяют из воды одновременно с соединениями железа.

В зависимости от требуемой остаточной концентр и кремнекислоты в воде применяют те или иные методы ее уд- ения.

для получения воды с содержанием SiO_3^{2-} в пределах 2—3 *мг/л* ее обрабатывают коагулянтами — солями железа или алюминия [4, 6, 10, 153];

для получения остаточной концентрации SiO_3^{2-}, равной 1—1,5 *мг/л*, исходную воду со щелочностью до 2 *мг-экв/л* подогретую выше 35°С, обрабатывают каустическим магнезитом, если же щелочность воды больше 2 *мг-экв/л*, то одновременно с обескремниванием проводят и умягчение, обрабатывая воду при подогреве выше 35°С каустическим магнезитом или обожженным доломитом с известью [154, 155]·

для уменьшения содержания SiO_3^{2-} до 0,1—0,3 *мг/л* воду фильтруют через магнезиальный сорбент ВОДГЕО по двухступенчатой схеме, при этом следует подогревать воду таким образом, чтобы температура ее на выходе из фильтра не была ниже 40°С [155]

Высокая степень обескремнивания достигается благодаря использованию высокоосновных анионитов при одновременном обессоливании воды (см. стр 293, а также [157]). Хорошие результаты по удалению кремнекислоты дает электролиз природной воды с растворимыми алюминиевыми или железными электродами [158], оптимальная плотность тока 0,05—0,10 *а/дм²*, расход электроэнергии равен 0,5—3 *квт·ч/м³*.

§ 76. Удаление из воды железа

Проектирование специальных установок для обезжелезнивания воды п- изводится только в тех случаях, когда необходимая степень уд- ения железа не может быть достигнута попутно при обработке воды на других технологических сооружениях. Как уже отмечалось, для хозяйственно питьевых вод суммарное количество

закисного и окисного железа не должно превышать 0,3 *мг/л*. Допустимые нормы на железо в воде, поступающей на производственные нужды, устанавливаются специалистами-технологами данной отрасли промышленности и оговариваются в задании на проектирование станций во подготовки Выбору метода обезжелезивания воды, [illegible] и доз реагентов, ствовать п ные те е исследо ния, п месте намеченного строительства ций обработки воды [21] Необходимо также тывать опыт эк гации станций обезжелезивания воды, раб ающих в аналог условиях.

Из поверхн ных вод железо удаляют одновременно с их осветлением и обесцвечиванием При отсутствии результатов пробного обезжелезивания таких вод коагуляцией, хлорированием и известкованием в составе технологических сооружений дусматривают оборудование для использования всех этих реагентов для обработки воды Допускается также проектирование предварительного аэр вания воды, если в ней содержится закисное железо, а также добавление перманганата калия

При [illegible] оды коагулянтами пр ит соосаж ние гидроокис , ихся при гидролизе коагулян и гидролизе солей железа, находящихся в природной воде, а также соедин й жел , присутствующих в ней иде взвесей. В качестве коа ..янтов применяют сернокислый гл....зем, алюминат натрия и хлорное железо [10, 159, 160] гидроокись алюминия с мелом (во взвешенном слое осветлителей) и др. Дозы коагулянтов предварительно определяют на основании цветности и мутности исходной воды по ф улам, приведенным в гл III § 13

Хлорирование воды обусловливает окисление закисных соединений железа в окис , к рые в присутствии бикарбонатов природных вод полност ги лизуются по реакции

$$2Fe^{2+} + Cl_2 + 6HCO_3^- = 2Fe(OH)_3\downarrow + 2Cl^- + 6CO_2\uparrow.$$

На окисление 1 *мг* двухвалентного железа расходуется 0,64 *мг* хлора, щелочность воды при этом снижается на 0,054 *мг-экв/л*. Дозу хлора $Д_{хл}$ в *мг/л* рассчитывают по формуле

$$Д_{хл} = 0{,}7\,(Fe^{2+}), \qquad (190)$$

где (Fe^{2+}) — содержание закисного двухвалентного железа в исходной воде в *мг/л*.

При обработке воды перманганатом калия реакция окисления и последующего гидролиза протекает по уравнению

$$4Fe^{2+} + MnO_4^- + 8HCO_3^- + 2H_2O = 4Fe(OH)_3\downarrow + MnO_2\downarrow + 8CO_2\uparrow.$$

На окисление 1 *мг* двухвалентного железа расходуется 0,71 *мг* перманганата калия и щелочность воды уменьшается на 0,036 *мг-экв/л*, дозу перманганата калия $Д_п$ в *мг/л* при некотором его избытке, определяют его по формуле

$$Д_п = (Fe^{2+}) \qquad (191)$$

Окисление закисного железа кислородом воздуха, наблюдаемое при аэрировании воды, происходит по аналогичной реакции

$$4Fe^{2+} + O_2 + 8HCO_3^- + 2H_2O = 4Fe(OH)_3\downarrow + 8CO_2\uparrow.$$

На окисление 1 *мг* двухвалентного железа расходуется 0,143 *мг* кислорода Процесс замедляется при наличии в растворе углекислоты, заметно понижающей pH воды, поэтому для быстрого завершения окисления и гидролиза необходимо удалять ее аэрацией или связывать добавлением извести.

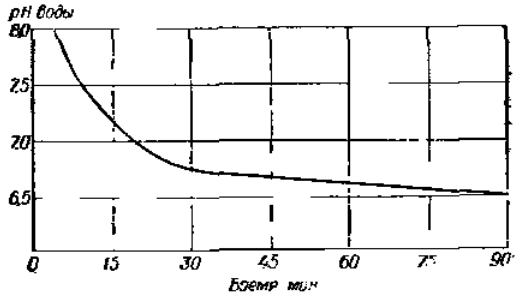


Рис 127 График времени окисления закисного железа при различных pH (начальное содержание железа 0,5 *мг/л*, конечное — 0,3 *мг/л*)

Повышение pH воды благоприятствует проведению процесса обезжелезивания, как видно из графика, приведенного на рис. 127, при этом возрастает скорость окисления двухвалентного железа и соответственно сокращается время, необходимое для полного завершения реакции pH воды в заданных границах поддерживают, добавляя в нее известь или соду. Дозы их при обработке воды коагулянтами вычисляют по формулам, приведенным в гл. III. Если $(Fe^{2+})/28$ меньше щелочности исходной воды, то дозу извести $Д_и$ в *мг/л* определяют из зависимости (в пересчете на CaO)

$$Д_и = 28\left(\frac{(CO_2)}{44} + \frac{(Fe^{2+})}{28} + \frac{Д_к}{e}\right), \qquad (192)$$

где (CO_2) и (Fe^{2+}) — соответственно содержание в воде свободной углекислоты и закисного железа в *мг/л*,

$Д_к$ — доза коагулянта, рассчитанная по мутности или цветности исходной воды, в *мг/л* безводного продукта,

e — эквивалентный вес коагулянта, равный для сернокислого алюминия 57 (см. гл. III стр. 69).

Установка для реагентного обезжелезивания воды, схема которой приведена на рис 128, включает следующее оборудование: устройства для приготовления растворов реагентов и их дозирования, аэратор смеситель осветлитель и фильтры

Аэратор смеситель изготовляют в виде системы резервуаров с дырчатыми днищами, расположенных один над другим на расстоянии 250 *мм*. Плотность орошения принимают от 80 до 100 $м^3/ч$ воды на 1 $м^2$. Диаметр отверстий в пределах 5—10 *мм*, число их в каждом днище вычисляют, принимая скорость движения воды в отвер-

стиях 1 *м/сек*. Число резервуаров с дырчатыми днищами должно быть при содержании железа до 5 *мг/л* и щелочности воды до 5 *мг-экв/л* — 5 шт. При большей концентрации железа и щелочности воды добавляется по одному резервуару на каждые 5 *мг/л* железа и 2 *мг-экв/л* щелочности. Реагенты, понижающие pH воды и обусловливающие выделение углекислоты (коагулянт), вводят

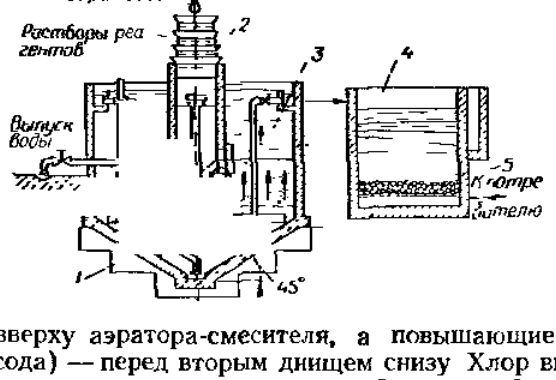


Рис. 128. Установка для обезжелезивания воды реагентными методами.
1 — осадкоуплотнитель; *2* — аэратор-смеситель; *3* — осветлитель; *4* — осветлительный фильтр; *5* — песок.

вверху аэратора-смесителя, а повышающие pH воды (известь, сода) — перед вторым днищем снизу. Хлор вводят раньше извести, так как его окислительные свойства ослабляются при высоких pH.

Осветлители для обезжелезивающей установки проектируют, исходя из зависимостей, приведенных в гл. VI. При этом скорость восходящего потока воды при коагуляции без известкования принимают равной 0,8 *мм/сек*, с известкованием — 1,0 *мм/сек*. Высоту взвешенного слоя осадка в осветлителе следует принимать равной 2 *м*, высоту защитного слоя воды над осадком — 1,5 *м*. Объем осадкоуплотнителя в осветлителе рассчитывают на пребывание в нем осадка в сечение 6 *ч*. Количество отсасываемой воды в осадкоуплотнитель составляет 20—[illegible]%.

Фильтры для обезжелезивающей установки рассчитывают на основании зависимостей и норм, приведенных в гл. VII.

Из подземных вод железо удаляют путем окисления его закисных соединений с последующим осветлением воды от выделившейся при гидролизе воды окиси железа путем фильтрования. При отсутствии данных технологических исследований на месте водозабора при выборе метода обезжелезивания воды следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в [21].

Фильтрование воды с предварительной упрощенной аэрацией можно применять для обезжелезивания при следующих показателях ее качества: общее содержание железа до 10 *мг/л* и двухвалентного не менее 70%; pH исходной воды выше 6,8, щелочность воды более $\left(1+\frac{(Fe^{2+})}{28}\right)$ *мг-экв/л*; содержание сероводорода не более 0,5 *мг/л*, перманганатная окисляемость не превышает величины $[0{,}15\ (Fe^{2+})+$ [illegible] *мг/л* по O_2.

Если один из показателей не соответствует приведенным, то для удаления железа воду обрабатывают на аэраторах с добавлением

в нее в необходимых случаях реагентов-окислителей (перманганата, хлора)

Удалять железо из воды катионированием целесообразно только в случаях, когда требуется одновременно проводить ее умягчение. Необходимым условием при этом является отсутствие обогащения воды кислородом при подаче ее на катионитовые фильтры.

При обезжелезивании воды, содержащей более 10 *мг/л* железа, метод ее обработки и состав технологических сооружений устанавливается на основании исследований, проводимых на опытной установке

Для обезжелезивания подземной воды путем фильтрования с предварительной упрощенной аэрацией применяют фильтры, аналогичные по конструкции фильтрам, используемым при осветлении и обесцвечив и воды, описание и расчет которых приведен в гл. VII. Исходные данные по загрузке их кварцевым песком и допустимым скоростям фильтрования при обезжелезивании воды приведены в табл. 55. Расчетную продолжительность фильтроцикла между промывками принимают равной не менее 12 *ч*.

Таблица 55 *Фильтрующий слой и скорости фильтрования при обезжелезивании воды*

Характеристика фильтрующего слоя					Расчетная скорость фильтрования в *м/ч*	
Диаметр зерен загрузки в *мм*		Эквивалентный диаметр в *мм*	Коэффициент неоднородности	Высота слоя в *мм*	при нормальном режиме	при форсированном режиме
минимальный	максимальный					
0,8	1,8	0,9—1,0	1,5—2,0	1000	7	10
1,0	2,0	1,2—1,3	1,5—2,0	1200	10	15

Упрощенная аэрация воды перед фильтрами производится простым изливом ее с высоты 0,5—0,6 *м* в карман или центральный канал открытых фильтров при скорости истечения 1,5—2,0 *м/сек*. В случае напорных фильтров предусматривается подача воздуха в подводящий трубопровод (рис. 129) в количестве 1,5—2,0 *л* на 1 *г* двухвалентного железа.

При проектировании полной аэрации воды используют аэраторы с деревянной хордовой насадкой (рис 130) и продувкой воздухом Площадь поперечного сечения их находят, принимая нагрузку по воде 40 $м^3/ч$ на 1 $м^2$; расход воздуха — 10 $м^3$ на 1 $м^3$ обрабатываемой воды. При соответствующем обосновании могут применяться и другие типы аэраторов

На рис. 131 г ена схема установки для обезжелезивания воды с контактной градирней Описание ее см в гл. XI, § 57 При расчете градирни нагр у на 1 $м^3$ п ади принимают равной 20 $м^3/ч$ Если содержа закисного ж еза в воде не превышает 5 *мг/л*, то контактную градирню оборудуют тремя слоями насадки, при содержании железа от 5 до 10 *мг/л* — четырьмя и т. д В ниж-

ней части градирни расположен резервуар, из которого вода насосом или самотеком подается на фильтры Контактные градирни размещают в отапливаемом, хорошо вентилируемом помещении

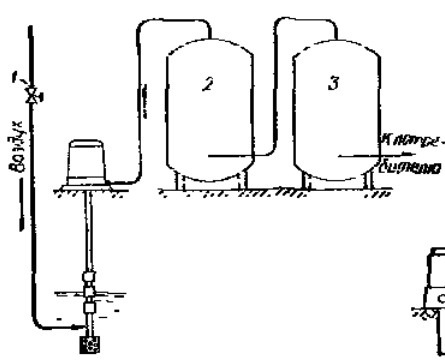


Рис 129 Схема напорной установки для обезжеле ния воды с подачей возду ха во в вающий патрубок насоса
1 — регулирующий вентиль 2 — контактный фильтр 3 — осветлительный фильтр.

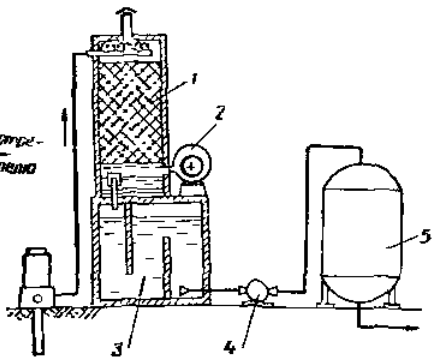


Рис 130 Схема установки для обез железивания воды аэрацией:
1 — вентиляторная градирня, 2 — вентиля тор, 3 — контактный резервуар 4 — насос 5 — напорный фильтр

в южных районах их можно размещать на открытом воздухе. В последнем случае экономически целесообразно применять для обезжелезивания воды брызгальные бассейны (рис. 132) При их про-

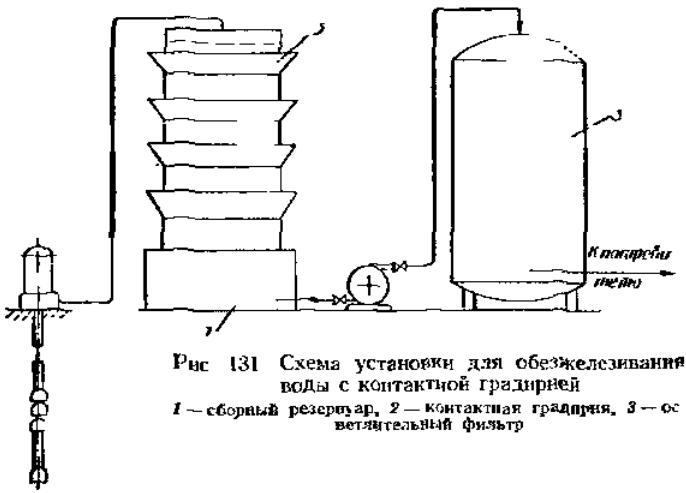


Рис 131 Схема установки для обезжелезивания воды с контактной градирней
1 — сборный резервуар, 2 — контактная градирня, 3 — осветлительный фильтр

ектировании глубину бассейна принимают равной 1,5—2 *м*, расход воды на 1 $м^2$ площади бассейна — 5 $м^3/ч$, число разбрызгивающих насадок на каждые 10 $м^2$ площади бассейна — 4—5, напор воды перед насадками 3—5 *м вод. ст.*

Кроме насыщения воды кислородом, необходимым для окисления закисных форм железа, аэрационные установки удаляют из нее углекислоту, образующуюся и гидролизе солей железа в бикарбонатной среде по приведенным выше уравнениям реакций Наличие в воде углекислоты понижает величину pH, а это замед

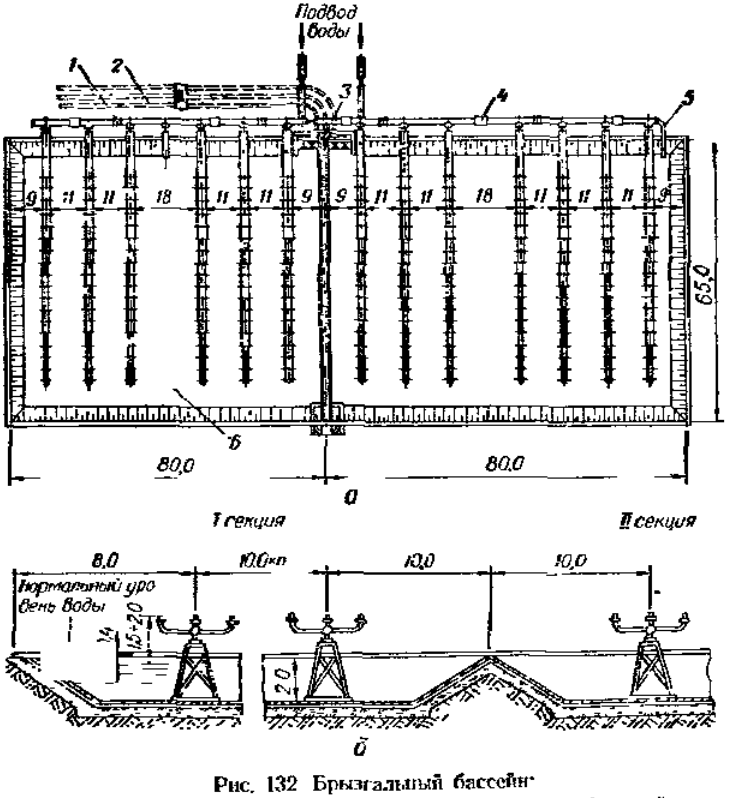


Рис. 132 Брызгальный бассейн

а — план *б* — поперечный разрез *1* — компенсатор *2* — железобетонный отводящий канал, *3* — приемник аэрированной воды *4* — подвижная опора, *5* — выпуск, *6* — воздушные коридоры

ляет процесс окисления закисного железа Насыщение воды кислородом при разбрызгивании ее в воздухе протекает очень интенсивно [10] поэтому пог ть насадки в аэрационном оборудовании рассчитывают на п_г - ние более медл ого процесса удаления из воды углекислоты Количество углекислоты в воде, поступающей на обезжелезивающие установки $C_{вх}$ в *мг/л*, определяют по формуле

$$C_{вх} = 1{,}57 \cdot C_{Fe} + C_{поч}, \qquad (193)$$

где C_{Fe} — содержание железа в исходной воде в *мг/л*,
$C_{поч}$ — концентрация в ней свободной углекислоты в *мг/л*.

Величину $C_{нач}$ находят по номограмме, приведенной на рис 96 Ориентировочно ее можно вычислить, используя зависимость

$$C_{нач} = 0{,}268\,(Ж_к)^3, \qquad (194)$$

где $Ж_к$ — карбонатная жесткость воды в *мг-экв/л*.

Определив значение $C_{вх}$ и принимая концентрацию углекислоты в воде после аэратора $C_{вых}$ в пределах 3—10 *мг/л*, рассчитывают поверхность насадки по формулам (112) и (113), приведенным в гл XI.

В тех случаях, когда аэрация воды не обеспечивает необходимой степени обезжелезивания, что обычно наблюдается при наличии в исходной де солей с ыми м ыми кислотами или гума железа, и обработки во няют установками для подачи в воду хлора или перманганата калия. При их (см стр 71) пред матривается ввод этих реагентов фильтрами в подводящий трубопровод.

Уни сальным методом удаления железа из воды является ее извест вание, однако прим ть этот метод только для обезжелезивания экономически невыгодно Его целесообразно использовать, если одно еменно требуется частичное умягчение воды Доза извести, необходимая для удаления железа из воды, $Д_и$ в *мг/л* при расчете на CaO вычисляется по зависимости

$$Д_и = 0{,}8C_{нач} + 1{,}8C_{Fe}. \qquad (195)$$

Обозначения приведены в предыдущих формулах Оборудование установок с известкованием такое же, как и в установках для реаген го умягчения воды.

В ряде случаев, когда pH воды после аэрации остается ниже 6,8, а п целачивать воду известью неэкономично, процесс окисления железа интенси уют, применяя в качестве катализатора при родные или искусственные окислы марганца. Воду после аэрации пропускают через напорные контактные фильтры, загруженные обычным пиролюзи или «черным песком» Такой песок получают последовательной обработкой песка растворами хлорида марганца и перманга ия [27] Размер зерен составляет 0,6—1,2 *мм*, высот я 2,5 *м*, скорость фильтрования 10—15 *м/ч* Из контакт х фильтров вода пост на обычные напорные или самоте ые фильтры, где она о кается от осадка водной окиси железа.

Марганцевый катализатор окисления можно приготовить и на основе любого катионита в Na-форме Для этого его регенерируют раствором хлорида марганца и затем обрабатывают 0,5%-ным раствором перманганата калия В результате на поверхности катионита осаждаются окислы марганца, способные окислять содержащееся в воде за ное железо Для восстановления реакционной способности такого катионита его необходимо периодически промывать 0,1%-ным м перманган [27].

Установки для обез ания воды к занием применяют тогда, когда вода содержит только ионы двухвалентного железа и одновременно требуется проводить ее умягчение В этом

случае необходимо герметизировать аппаратуру и трубопроводы для предупреждения попадания в воду кислорода и других окислителей, а поверхности их покрыть антикоррозионным лаком Такие установки состоят из катионитовых фильтров со слоем катионита в Na-форме (см. гл. XIII, § 67) и вспомогательного оборудования (см. стр 284) При высоте слоя катионита 2,5 *м* скорость фильтрования принимают до 25 *м/ч*. Регенерацию фильтров осуществляют 5%-ным раствором поваренной соли и один раз после 5—20 регенераций промывают фильтры 1% ным раствором кислоты

При проектировании станций обезжелезивания воды необходимо предусматривать повтор е использование промывной воды после фильтров, а также ус ройства для обработки осадков (см. гл II, стр 60). Вопрос о необходимости обеззараживания воды после обезжелезивания в каждом отдельном случае согласовывается с местными органами Государственного санитарного надзора.

§ 77. Удаление из воды марганца

Концентрация марганца в хозяйственно питьевой воде стандартом не лимитируется, содержание же марганца в воде, используемой в бумажной, текстильной, кинокопировальной, шелкомотальной промышленности, не допускается более 0,1 *мг/л*. Кроме того, при наличии в воде марганца может наблюдаться обрастание трубопроводов марганцепотребляющими бактериями.

Концентрация солей марганца в природных водах обычно не превышает 0,5 *мг/л*. Часто марганец сопутствует железу и, следовательно, удаляется из воды параллельно с обезжелезиванием Поэтому обезмарганцевание воды может быть достигнуто аэрацией, иногда совместной с известкованием воды, обработкой воды сильными окислителями — хлором, озоном и др., при коагуляции примесей воды сернокислым окисным железом, фильтрованием воды через Na-катионит; пропуском воды через катионитовые фильтры с марганцевым катализатором Во всех этих методах обработки воды, кроме катионирования, предусматривается фильтрование ее на напорных или самотечных фильтрах.

Марганец удаляют из воды при аэрировании окислением ионов двухвалентного марганца в трех- и четырехвалентные ионы, которые гидролизуются, выделяются в осадок в виде гидроокисей Учитывая, что самопроизвольное растворенным в воде кислородом двухвалентного марганца протекает достаточно быстро только при величине pH>9,5—10, для полноты его удаления необходимо воду подщелачивать известью При этом из обрабатываемой воды удаляется и карбонатная жесткость.

Так как окислы марганца являются катализатором процесса окисления марганца, то вместо подщелачивания обрабатываемую воду, после ее аэрации можно фильтровать через контактный фильтр, загруженный дробленым пиролюзитом или обмарганцованным песком, зерна которого покрыты пленкой окислов марганца

Хорошие результаты также дает фильтрование воды через марганцевый катионит, применяющийся для обезжелезивания.

Ионы двухвал ного марганца окисляются хлором достат о быстро только пр pH>4, но при условии, что обрабатываемая а не содержит аммиака или аммонийных солей При наличии же х солей в воде хлор не оки ет марганца ввиду того, что окислительный потенциал образующихся в воде хлор в не достаточен для окисления марганца. В данном случае д лучения у летв ительных результатов доза хлора должна обеспечивать с ление хлораминов и марганца, т. е соответствовать дозе за точкой перелома на экстремальной кривой в ко тах «введенный хлор — остаточный хлор» (см гл. X, стр. 194) Таким образом, пр при этом следует учитывать, что для полного разрушени х на 1 *мг* аммиака необходимо вводить ~ 6 *мг* хлора и кроме того, на окисление 1 *мг* Mn^{2+} в Mn^{3+} дополнительно нужн иметь 1,3 *мг* хлора

Двуокись хлора и озон окисляют ионы двухвалентного марган. ца при pH воды в пределах 6,5—7 в течение 10—15 *мин*, расход двуокиси хлора составляет 1,35 *мг* и озона 1,45 *мг* на 1 *мг* Mn^{2+}.

Из поверхностных вод марганец может быть удален коагулированием сер кислым железом $Fe_2(SO_4)_3$ с подщелачиванием воды до значений pH воды в пределах от 9,5 до 10,5 При этом значительная часть выделяющихся гидроокисей железа и марга задер ается обычно в отстойниках или осветлителях со в шен ным осадком, а остальная часть задерживается на скорых осветлительных фильтрах

Ионы двухвалентного марганца могут быть удалены из ы на Na-катионитовых фильтрах Как и в случае обезжелезивания воды, уста ка должна быть хорошо герметизирована для устранения поп ния кислорода воздуха и образования при этом гидроокисей, рязняющих катионит.

Марганец удаляют из воды также биохимическим методом при пропускании ее через напо ные фильтры с грубозернистым песком ($d_{ср} \sim 3$ *мм*) слоем высот ,5 *м* и засеянных в льшим количеством марганецпотребляющих бактерий, скорость фильтрования — до 30 *м/ч* Отми ющие бактерии образуют на по хности зерен песка биомассу, держащую окислы марганца, я ющиеся катализаторами окисления

§ 78. Удаление из воды кремнекислоты

Природные воды содержат кремнекислоту в растворенном или коллоидном состоянии в пределах от 1—2 до 50—60 *мг/л*. Высокие концентрации се в воде, используемой предприятиями, производящими искусственное в о, пластмассы, высокополимеры, химико-фармацевтической ленностью и др, недо тимы. Глубокое обескремнивание осуществляется также при водоподготовке для питания котлов с высокими параметрами пара.

Кремнекислоту удаляют из воды реагентными и ионообменными методами [4, 6, 10], возможно извлекать кремнекислоту также путем электролиза воды с растворимыми электродами.

При обычной *коагуляции с известкованием* содержание в воде кремнекислоты снижается до 3—5 *мг/л*. В качестве коагулянтов применяют соли железа — железный купорос или хлорное железо, а также сернокислый алюминий. Дозы их определяют, исходя из расхода 15 *мг* безводного продукта на 1 *мг* удаляемой SiO_3^{2-}. Известь вводят в количестве, обеспечивающем повышение pH воды до 7,8—8,3. Дозу ее, $Д_и$ в *мг/л* в расчете на CaO, рассчитывают используя зависимость

$$Д_и = 28 \cdot \left(\frac{CO_2}{22} + \frac{Д_к}{e_к} \right), \qquad (196)$$

где CO_2 — концентрация в воде углекислоты в *мг/л*;

$Д_к$ — доза безводного коагулянта в *мг/л*,

$e_к$ — его эквивалентный вес в *мг/мг экв*, равный для железного купороса — 77, хлорного железа — 54 и сернокислого алюминия — 57 (см. гл. III стр 69).

Схема сооружений для обескремнивания воды по этому методу аналогична схемам, применяющимся на станциях осветления и обесцвечивания воды при использовании осветлителей со взвешенным слоем осадка. Если допускается содержание взвешенных веществ в воде до 15 *мг/л*, то вода из осветлителей может подаваться потребителю; при необходимости более полного осветления воды ее пропускают через фильтры с антрацитовой крошкой. При проектировании таких установок для обескремнивания воды принимают скорость восходящего потока воды в осветлителях в пределах 0,9—1,0 *мм/сек*, высоту взвешенного слоя осадка не менее 2,5 *м*, отвод воды в осадкоуплотнитель 20—25%, объем осадка рассчитывают на 3-часовое уплотнение. Для снижения расхода коагулянта, который обычно очень большой, порядка 200—400 *мг/л*, принимают рециркуляцию осадка в осветлителе, производительность насоса, подающего осадок из осадкоуплотнителя в смеситель, рассчитывают на перекачивание 10% объема воды, поступающей на установку.

Хорошие результаты дает применение алюмината натрия (оптимальное pH=7÷7,6), остаточная кремнекислота при этом составляет 0,5—2,0 *мг/л*. Аналогичные результаты достигаются также в случае применения алюмината натрия и хлорного железа (молекулярное соотношение 1 : 1).

Магнезиальное обескремнивание воды обеспечивает снижение концентрации до 1,0—1,5 *мг/л*. Этот метод основан на сорбции кремнекислоты частицами гидроокиси магния при pH воды порядка 10,2—10,5 и подогреве ее до 35°C. В качестве реагентов применяют каустический магнезит и обожженный доломит; при щелочности воды выше 2 *мг-экв/л* добавляют также известь для одновременного обескремнивания и умягчения. Если в исходной воде отношение концентрации ионов Mg^{2+} в *мг/л* к концентрации кремнекислоты (SiO_3^{2-} в *мг/л*) находится в пределах выше 4—6, то обескремни-

вание ее может осуществляться одним известкованием. В этом случае при добавлении в воду извести образуется гидроокись магния в количестве, достаточном для извлечения кремнекислых соединений. При недостатке солей магния они могут быть добавлены в воду одновременно с известью, например, в виде $MgCl_2$.

Каустический магнезит представляет собой пыль, улавливаемую из отходящих газов при обжиге природного магнезита ($MgCO_3$). В нее добавляют также молотый обожженный магнезит, получая продукт, качество которого должно соответствовать ГОСТ 1216—41 (табл. 56). Размер зерен находится в пределах 0.04—0.14 *мм*, насыпной вес — 1,1—1,15 *т/м*^{3}.

Таблица 56. *Состав порошкообразного каустического магнезита*

Содержание компонентов в весовых проц.	Сорта каустического магнезита		
	I	II	III
MgO не менее	87	83	75
CaO не более	1,8	2,5	4,5
SiO_2 »	1,8	2,5	4,0
O_3 »	2	Не нормируется	
Пага	1,5	1,5	1,5
Потери при прокаливании не более	6	8	18

Обожженный доломит, получаемый из природного доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), промышленностью не изготовляется и его необходимо получать на месте применения, что не всегда экономично и целесообразно. Поэтому широкое его распространение при обескремнивании воды имеет каустический магнезит. Доза каустического магнезита или обожженного доломита $Д_о$ в *мг/л* в расчете на MgO при расходе 12 *мг* его на 1 *мг* SiO_3^{2-} определяется по формуле

$$Д_о = \frac{[(SiO_3^{2-})\,12 - (MgO)]\,100}{C_{MgO}}, \qquad (197)$$

где (SiO_3^{2-}) — содержание кремнекислоты в исходной воде в *мг/л*;
(MgO) — содержание окиси магния в исходной воде в *мг/л*;
C_{MgO} — содержание окиси магния в товарном продукте в проц.

Как уже отмечалось, магнезиальное обескремнивание воды со щелочностью более 2 *мг-экв/л* проводят одновременно с известковым умягчением, так как при больших количествах углекислоты и бикарбонатов гидроокись магния растворяется и процесс извлечения кремнекислоты ухудшается. Необходимая для этого доза извести $Д_и$ в *мг/л* при расчете на CaO, вычисляется по формуле

$$Д_и = 28\left[\frac{(CO_2)}{22} + Ж_к + \frac{(Mg^{2+})}{12} + \frac{Д_к}{e_к} + 0{,}5 - \frac{Д_о C_{CaO}}{100}\right]\frac{100}{C_{изв}}, \qquad (198)$$

где CO_2, $Д_к$ и $e_к$ — см. формулу (196);

$Ж_к$ — карбонатная жесткость исходной воды в *мг экв/л*;

(Mg^{2+}) — концентрация в ней ионов магния в *мг/л*,

C_{CaO} — содержание CaO в каустическом магнезите или обожженом доломите в проц.;

$C_{изв}$ — с ержание CaO в извести в проц.

Для улучшения хлоь образования в воду целесообразно добавлять коагулянт в количестве 0,25—0,5 *мг-экв/л*. Так как pH среды высоко, порядка 10,2—10,5, то в качестве коагулянта применяют хлорное железо или сульфат окисного железа

Каустический магнезит дозируют в виде суспензии или порошка. При «мокром» дозировании оборудование для приготовления суспензии применяют такое же, как и при известковании (см гл. III, стр. 84) Площадь поперечного сечения гидравлической мешалки и производительность циркуляционного насоса рассчитывают так, чтобы скорость восход потока суспензии была в пределах 26—29 *м/ч* При «сухо ировании шнеком или другим устройством порошкообразный магнезит поступает в приемную камеру гидротранспортера и вод м эжектором подается в осветлитель.

Введенный в воду кау ческий магнезит образует тяжелую быстрооседающую взвесь эффект обескремнивания которой зависит от дозы реагента, времени контакта его с водой и ее температуры. В связи с тем, что продолжительность контакта воды со взвешенным осадком должна быть порядка 60—90 *мин.*, обычно в установках для удаления кремнекислоты применяют осветлители типа ЦНИИ МПС с ко ским днищем и общей в около 10 *м*. При их проектирова имают скорость вос его потока воды в зоне осветления равной 0,7—0,8 *мм/сек*, отвод ее в осадкоуплотнитель 30—40%, высоту слоя взвешенного осадка 3,5—4,5 *м* и зоны осветления —2—2,5 *м*. Оптимальная температура процесса обескремнивания 40°С, однако установлено, что при температуре воды выше 120—130° эффект удаления кремнекислоты повышается до 0,3—0,5 *мг/л*, а расход реагентов и время пребывания воды в осветлителе уменьшается [161].

После осветлителя вода фильтруется через слой дробленого антрацита На фильтрах содержание остаточной кремнекислоты несколько снижается за счет сорбции ее в пленке, образуемой вынесенными с водой частицами гидроокиси магния.

При *фильтрационном обескремнивании* воды в слое магнезиального сорбента ВНИИ ВОДГЕО концентрация SiO_3^{2-} уменьшается до 0,1—0,3 *мг/л*. Его приготовляют [10, 156 смешиванием до тестообразного состояния каустического магнезита, содержащего около 90% окиси магния, с раствором хлористого магния или соляной кислоты (весовое отношение Mg · Cl примерно 1,5 1) Полученную массу высушивают при 80—100°С, дробят на крошку с размером зерен 0,5—1,5 *мм* и загружают в фильтры Перед включением в работу фильтры промывают током воды сверху вниз (скорость 5—7 *м/ч*) для выщелачивания из магнезиального сорбента хлористого магния и кальция, пористость и кремнеемкость его при этом воз-

растают. Сорбент не регенерируется и по истощении заменяется свежим. Для его [illegible]ления в помещении склада реагентов предусматривают на[illegible] установки.

Из воды, поступающей на сорбционные фильтры, должны быть удалены бикарбо[illegible]ты и углекислота, так как в их присутствии магнезиальный сорбент понемногу растворяется, обогащая воду ионами жесткости. Это достигается известкованием (pH>10), H-, Na-катионированием или частичным обессоливанием с обязательным в последних [illegible]их случаях выделением из воды углекислоты в дегазаторах и д[illegible]ведением pH ее до 8,5—9 прибавлением едкого натра. Кроме того, [illegible] воды должны быть удалены коагуляцией окрашенные ор[illegible]нические г[illegible]меси и железо, хорошо сорбирующиеся на магнез[illegible]ьном сорб[illegible]те.

Проектируя обескремнивание воды магнезиальным сорбентом, предусматривают:

Скорость фильтрования . . .	До 10 *м/ч*
Высоту слоя сорбента на фильтре	3,5—4 *м*
Объемный насыпной вес сорбента	0,75—0,85 *т/м*^{3}
Кремнеемкость сорбента	Около 10% по весу
П[illegible]одическое взрыхление слоя сорбента тока воды, направленным снизу вверх с интенси[illegible]тью	3—4 *л/сек м*^{2}
П[illegible]одовательную работу двух фильтров с по[illegible]зевом воды, обеспечивающем ее температуру на выходе из фильтров .	Не ниже 40° С

В установке на каждые две пары рабочих сорбфильтров должен быть один резервный для включения в работу при перегрузке одного из основ[illegible]ых фильтров. В случае полного истощения сорбента на фильтре п[illegible]ой ступени его отключают и, заменив испо[illegible]ванный магнезиальный сорбент, оставляют в качестве резервного; фильтр второй ступени становится при этом фильтром первой ступени, а на вторую ступень включают фильтр, находившийся в резерве.

При удалении из воды гетерофазных примесей и железа коагулянтами, фильтры с магнезиальным сорбентом устанавливают между осветлительными и Na-катионитовыми фильтрами. В водоподготовительных установках с H-, Na-катионированием их помещают после дегазаторов перед Na-катионитовыми фильтрами второй ступени, так как H-, Na-катионированная вода при фильтровании через магнезиальный сорбент растворяет до 0,25—0,5 *мг-экв/л* солей магния. В установках ионит[illegible]го обесс[illegible]ивания воды без применения сильноосновных анион[illegible]в сорбци[illegible]ные фильтры для кремнекислоты целесообразно устанавливать после дегазаторов перед катионитовыми фильтрами второй ступени.

Наиболее полное *обескремнивание* воды, до концентрации SiO_3^{2-} 0,03—0,05 *мг/л*, достигается в *цикле ионитового обессоливания с сильноосновными ионитами*. Описание схем установок, применяемых ионитов и методов их регенераций, а также основные расчетные данные приведены в гл. XIV (см. стр. 293). Сущность ионито-

вого способа удаления кремнекислоты и одновременного обессоливания воды заключается в следующем:

пропускают воду через водород катионитовые фильтры, где из нее извлекают катионы щелочноземельных (Ca^{2+} и Mg^{2+}) и щелочных (K^+ и Na^+) металлов; затем вода проходит через фильтры со слабоосновным анионитом, где она избавляется от анионов сильных кислот (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-), после дегазации воды, для удаления из нее углекислоты, ее пропускают через фильтры с сильноосновным анионитом, где удаляется слабая кремнекислота. Для получения воды с общим содержанием менее 1 *мг/л*, в том числе кремнекислоты с общим содержанием менее 0,03 *мг/л*, применяют трехступенчатые схемы ионирования. К недостаткам этого способа следует отнести его сравнительно высокую стоимость, что объясняется большим расходом едкого натра на регенерацию и быстрым уменьшением в процессе эксплуатации кремнеемкости высокоосновных анионитов; это вынуждает производить их замену через каждые 1,5—2 года

Разработан метод обескремнивания воды на более стойких слабоосновных анионитах [157], которые в обычных условиях не извлекают из воды слабодиссоциированную кремнекислоту Он основан на переводе кремнекислоты в сильную кремнефтористоводородную кислоту (H_2SiF_6) путем добавления в воду перед Н-катионитовыми рами фтс ца натрия (NaF) или путем пропускания части ионирова й воды через фильтр, загруженный дробленым криолитом (AlF_3) или флюоритом (CaF_2). Образующиеся в кислой среде кремниевая и фтористоводородная кислоты реагируют по уравнению

$$H_2SiO_3 + 6HF = H_2SiF_6 + 3H_2O.$$

Анион сильной кремнефтористоводородной кислоты, как и анионы других сильных минеральных кислот, способен обмениваться с подвижными ионами слабых анионитов

$$2(An)OH + H_2SiF_6 \rightleftarrows (An)_2SiF_6 + 2H_2O.$$

Регенерация анионита, как обычно, производится раствором едкого натра или соды. Переходящие в регенерационный раствор ионы SiF_6^{2-} могут использоваться повторно при обработке его аммиаком или углекислым аммонием. Образующийся при этом раствор аммоний- и натрийфторида после отфильтр ания выделившейся в осадок кремнекислоты дозируется в обра ываемую воду. Фторидным методом обескремнивания воды на слабоосновных анионитах можно уменьшить содержание SiO_3^{2-} до 0,2—0,3 *мг/л*

Глубокое обескремнивание и одновременное обезжелезивание воды достигается при ее электролизе с алюминиевыми электродами [158] Расчетные параметры электролиза время пребывания ды в электролизере состаляет 10—15 *мин*, при глубоком обес- мнивании — 30 *мин*, расстояние между электродами — 5 *мм*; плотность тока на электродах 0,075—0,1 *а/дм²*; полярность электродов переключается через 10—15 *мин;* электроды могут вклю-

чаться дипольно при напряжении на каждую ячейку 3—4 *в*. Расход электроэнергии при электрохимическом обескремнивании воды до 3 *квт·ч/м*³.

§ 79. Пример расчета установки по обезжелезиванию воды

Рассчитать установку по обезжелезиванию воды водоочистной станции производительностью 2400 *м*³/*сутки* или 100 *м*³/*ч*. Содержание двууглекислого железа в исходной воде составляет 8 *мг/л*, щелочность — 4 *мг-экв/л*.

В качестве примера принята установка, удаление свободной углекислоты (образующейся при гидролизации двууглекислого железа), в которой производится на вентиляторной градирне, загруженной деревянной хордовой насадкой.

Площадь вентиляторной градирни

$$F_{гр} = q : q_{гр} = 100 : 40 = 2{,}5 \ м^2,$$

где $q_{гр}$ — удельный расход воды на 1 *м*² вентиляторной градирни; для деревянной хордовой насадки $q_{гр} = 40$ *м*³/*ч* на 1 *м*² площади градирни.

Высота хордовой насадки принята при щелочности исходной воды 4 *мг-экв/л* равной 3 *м*.

Производительность вентилятора для установки определена по формуле

$$q_{вент} = qq_0 = 100 \cdot 10 = 1000 \ м^3/ч$$

где q_0 — расход воздуха на 1 *м*³ обрабатываемой воды.

Напор вентилятора определяем:

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

Объем контактного резервуара можно определить из условия получасового пребывания в нем воды

$$W = \frac{qt}{60} = \frac{100 \cdot 30}{60} = 50 \ м^3.$$

Если принять глубину воды в резервуаре 2,5 *м*, то размеры его в плане будут 4,5×4,5 *м*.

Имеющиеся в схеме примера напорные фильтры необходимо проектировать в соответствии с указаниями, изложенными в гл. VII.

ГЛАВА XVI

ФТОРИРОВАНИЕ И ОБЕСФТОРИВАНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

§ 80. Фтор в природной воде и методы корректирования его содержания

Фтор относится к микроэлементам, содержание которых в воде должно находиться в строго определенных пределах. Малые и большие концентрации фтора в питьевой воде вредно влияют для человеческого организма [162].

Длительное употребление питьевой воды, в которой концентрация фтора ниже 0,7 *мг/л*, приводит к заболеванию зубов (кариес); такую воду перед подачей ее потребителю необходимо фторировать, т. е. добавлять соединения фтора, чтобы повысить его содержание в воде до 0,7—1,2 *мг/л* [163—165].

Использование питьевой воды с концентрацией фтора, превышающей 1,5 *мг/л*, вызывает флюороз (специфическое заболевание зубов, называемое «пятнистой эмалью»). При содержании в воде фтора более 3—5 *мг/л*, кроме флюороза, наблюдаются изменения в костях скелета, а у детей — малокровие и рахит. Повышенная концентрация фтора неблагоприятно влияет на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и общее физическое состояние. В тех районах, где питьевая вода бедна иодом, повышенное содержание в ней фтора может быть причиной заболевания щитовидной железы, так как фтор вытесняет в тканях этой железы иод.

Стандарт на хозяйственно-питьевую воду предусматривает предельно допустимую концентрацию фтора в воде, равную 1,5 *мг/л*; при большем его содержании вода должна обесфториваться, т. е. из нее должны удаляться избыточные количества фтористых соединений. Оптимальной для жизнедеятельности человека считается концентрация фтора в питьевой воде в пределах 0.7—1.2 *мг/л* [165—170].

Повышение содержания фтор-ионов в воде достигается дозированием в нее одного из перечисленных ниже фторсодержащих соединений — фтористого натрия, кремнефтористого натрия или аммония, фтористоводородной и кремнефтористоводородной кислот и др. Обесфторивание воды осуществляют в основном реагентными и фильтрационными методами, в основе которых лежат хемосорбционные процессы. В результате этих процессов фтор связывается в малорастворимые соединения и выпадает вместе с сорбентом в осадок (реагентные методы) либо сорбируется загрузкой обесфторивающих фильтров (фильтрационные методы).

§ 81. Фторирование воды

Необходимость фторирования воды на водопроводах устанавливается в каждом конкретном случае органами санитарно-эпидемиологической службы. По СНиП II Г. 3 [21] этот метод регулирования состава хозяйственно-питьевых вод рекомендуется предусматривать на во- -- зодах, если концентрация фтора в воде источника водоснаб) составляет менее 0,5 *мг/л* в течение 4—5 месяцев в году.

Фторирование воды в основном осуществляют фтористым натрием, кремнефтористым натрием и аммонием. Характеристика этих реагентов, выпускаемых отечественной промышленностью, приведена в табл. 57, номера стандартов, насыпной вес и растворимость их дана в табл. 12—14. По согласованию с органами санитарной инспекции, а также при соответствующем технико-экономическом обосновании на станциях обработки воды городских водопроводов

Таблица 57. *Фтористые соединения, применяемые при обработке воды*

Соединения	Содержание фтора в чистом веществе в проц. K	Содержание чистого вещества в техническом продукте в проц. $C_ф$		
		Высший сорт	I-й сорт	2-й сорт
Натрий фтористый	45	94	84	80
Натрий кремнефтористый	60	98	95	93
Аммоний кремнефтористый	64	—	—	93

могут быть применены и другие фторсодержащие реагенты. Проектируя фторирование, предусматривают ввод реагентов в воду перед фильтрами или после технологических сооружений, перед обеззараживанием воды.

Дозы применяемых реагентов зависят от оптимальной концентрации фтора в воде, которая в свою очередь определяется максимальной дневной (в 13 *ч*) температурой воздуха, так как от этого зависит количество потребляемой человеком воды. В жаркую пору года содержание фтора в воде уменьшают в связи с тем, что увеличивается потребление питьевой воды населением, в холодный период, наоборот, увеличивают. Рекомендуемые концентрации фтора следующие:

Максимальная дневная температура воздуха в °С	До 12	12—15	15—18	18—21	21—26	Более 26
Оптимальная концентрация фтора в питьевой воде в *мг/л*	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7

При проектировании фтораторных установок дозу применяемых реагентов $Д_ф$ в *мг/л* рассчитывают по формуле

$$Д_ф = [ma - (F^-)] \frac{100}{K} \cdot \frac{100}{C_ф}, \qquad (199)$$

где m — коэффициент, учитывающий потерю реагента и зависящий от места ввода содержащих веществ. При вводе реагента после сооружений $m=1$, перед скорыми фильтрами или контактными осветлителями $m=1,1$, перед медленными фильтрами $m=1,3—1,4$

a — необходимая концентрация фтора в воде, в расчетах при проектировании принимается максимальная — 1,2 *мг/л*;

(F^-) — содержание фтора в исходной воде в *мг/л*,

K и $C_ф$ — см табл 57.

Фтораторные установки оборудуют аппаратурой для приготовления растворов реагентов; при соответствующем обосновании допускается применение аппаратуры для сухого дозирования. Растворы фторсодержащих веществ с малой растворимостью — кремнефтористый натрий — приготовляют насыщенные или ненасыщенные. В первом случае используют сатураторы одинарного насыще-

ния (рис. 133), во втором расходные баки с механическим или воздушным перемешиванием (рис 134) Применяя хорошо растворимые соединения — фтористый натрий, кремнефтористый аммоний — получают ненасыщенные растворы для увеличения точности дозирования.

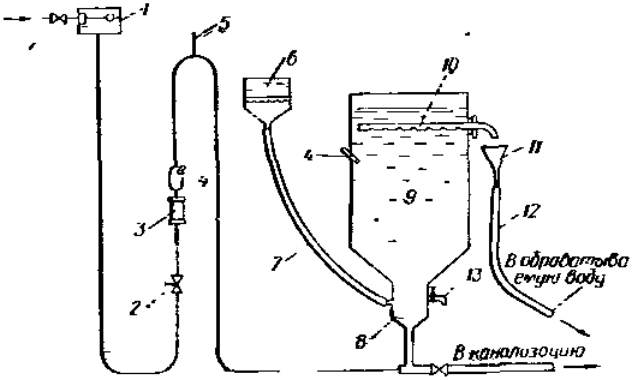


Рис. 133 Схема установки для фторирования воды с сатуратором

1 — бачок постоянного уровня *2* — вентиль, *3* — ротаметр, *4* — термометр, *5* — воздушник, *6* — воронка для реагента, *7* — реагентопровод, *8* — зона насыщения в сатураторе, *9* — отстойная часть сатуратора *10* — дырчатая труба, *11* — воронка, *12* — шланг; *13* — пробоотборный краник.

Производительность сатуратора по насыщенному раствору кремнефтористого натрия q_c в *л/ч* рассчитывают по формуле

$$q_c \quad \frac{[a-(F^-)]\cdot 1{,}65}{np}\cdot q, \qquad (200)$$

где q — расход обрабатываемой воды, *м³/ч*;

n — число сатураторов во фтораторной;

p — растворимость кремнефтористого натрия в *г/л* при 0° — 4,3, при 20° 7,3, при 40° — 10,3.

a и (F^-) — см. формулу 199.

Объем сатуратора вычисляют, принимая время пребывания в нем раствора не менее 5 *ч* и скорость входящего потока воды не более 0,1 *мм/сек*.

При проектировании расходных баков для приготовления ненасыщенных растворов фторсодержащих реагентов используют формулы (16), (17) и указания, приведенные в гл. III (см. стр. 75). Концентрацию рабочих растворов принимают. для кремнефтористого натрия при 0°С до 0,25% и при 25°С до 0,5%; для фтористого натрия до 2,5% и для кремнефтористого аммония до 7%. В последнем случае концентрация раств может быть доведена до 15%, однако при этом снижается точ ть дозирования Если во время растворения соединений фтора перемешивание в расходных баках осуществляется воздухом, то интенсивность его подачи должна

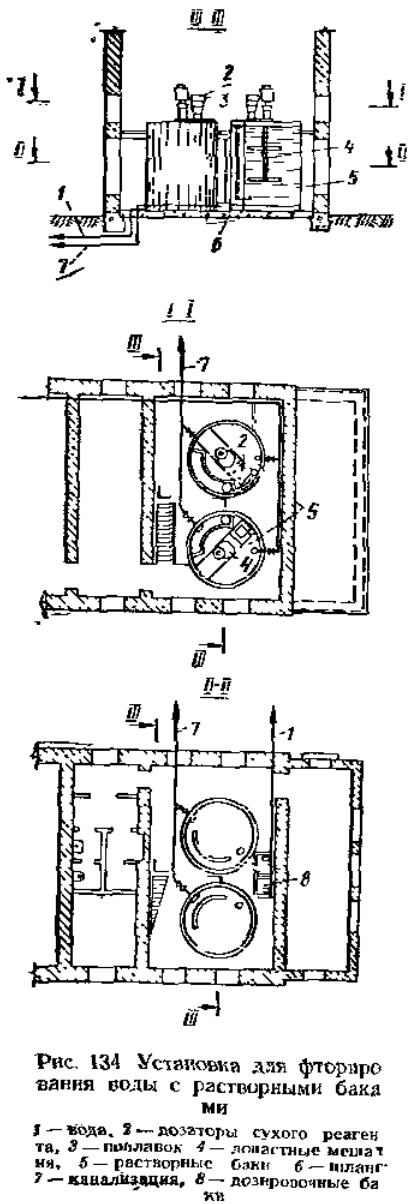


Рис. 134. Установка для фторирования воды с растворными баками

1 — вода, *2* — дозаторы сухого реагента, *3* — поплавок, *4* — лопастные мешалки, *5* — растворные баки, *6* — шланг, *7* — канализация, *8* — дозировочные баки

быть порядка 8—10 *л/сек·м²*. Растворение этих соединений в жесткой воде сопровождается образованием осадков кремнегористых и фтористых солей кальция и магния, к ним добавляются осадки нерастворимых примесей технических продуктов. Поэтому перед дозированием таких растворов в сеть воду они должны отстаиваться в расходных баках не менее 2 ч. Раствор отбирают из верхнего осветленного слоя при помощи гибкого шланга поплавком.

Наиболее полного осветления растворов фторсодержащих веществ достигают при фильтровании их через фильтры, загруженные кварцевым песком с размером зерен 0,5—1,2 *мм* и высотой слоя 700 *мм*, при расчетной скорости фильтрования 6 *м/ч*; расчет их производят по формулам, приведенным в гл. VII. Поэтому перед осветлительными фильтрами станций обработки воды допускается вводить неосветленные растворы, учитывая, однако, что ионы фтора сорбируются гидроокисью алюминия и, следовательно, их следует добавлять в воду только после полного завершения коагуляции и осаждения гидроокиси алюминия.

При сбросе осадков, образующихся при растворении фторсодержащих реагентов, а также воды от промывки расходных баков и сатураторов необходимо руководствоваться указаниями, приведенными в гл. II (см. стр. 54).

Во избежание поступления к потребителям воды с повышенными концентрациями фтора требуется надежно обеспечивать быстрое и полное смешение всей ее массы с подаваемыми растворами соединений фтора. Точность дозирования допускается в пределах 5%. Для ненасыщенных растворов фторсодержащих реагентов реко-

мендуется применять насосы-дозаторы с регулируемой производительностью В сатураторах контрольным прибором является ротаметр, измеряющий подачу воды для приготовления насыщенного раствора кремнефтористого натрия.

Следует помнить, что применение для фторирования воды кремнефтористого аммония связано с повышением в ней содержания аммонийных ионов на 0,2 *мг* на каждый *мг* введенного $(NH_4)_2SiF_6$ или 0,3 *мг* F^-. Это необходимо учитывать при хлорировании воды в связи с образованием хлора[illegible]нов (см. гл X, стр 194).

В случае применения раст[illegible]ов кремнефтористых солей расходные баки-дозаторы и трубопроводы следует изготовлять из устойчивых к коррозии материалов или [illegible]ь их противокоррозийными покрытиями. Еще более ко[illegible]о активны растворы кремнефтористоводородной и фтористоводородной кислот, к тому же они очень токсичны, что и ограничивает их применение для фторирования воды.

В помещении фтораторной установки предусматривают вентиляцию с 10—12-кратным обменом воздуха, а также местные отсосы воздуха в местах образования пыли. Температуру в помещении необходимо поддерживать не менее +16°С при ручном дозировании реагентов и не ниже +5°С при автоматическом дозировании

Учитывая токсические свойства фторсодержащих п[illegible]аратов, кроме общих мероприятий по охране труда, следует пре[illegible]сматривать индивидуальные меры защиты обслуживающего персонала — *респираторы, защитная одежда, резиновые перчатки, защитные очки* и пр Помещения фтораторной установки и склады фтористых соединений должны быть изолированы от других помещений реагентного хозяйства.

Фторсодер[illegible]ие реагенты хранят на складе в заводской таре — стальных бар[illegible]нах, деревянных бочках, фанерных барабанах; вес (нетто) равен 50—150 *кг* Склады оборудуют в соответствии с указаниями, приведенными в гл. III, в них поддерживается температура не ниже +5°С

§ 82. Обесфторивание воды

Реагентные методы удаления фтора из воды основаны на сорбции его гидроокисью магния или алюминия [10]

Воды обесфторивают гидроокисью магния при одновременном *умягчении воды* Хемосорбция фтора с образованием малорастворимого оксифторида магния не зависит от температуры и заканчивается при концентрации фтора в исходной воде 4—5 *мг/л* в течение 8—10 *мин* Количество магнезиальных солей, необходимых для образования свежеосажденных гидроокисей магния в осветлителе, составляет примерно 2 *мг-экв* на 1 *мг* фтора Содержание их в природных водах обычно меньше, и при известковании воды для осаждения гидроокиси магния, которая выделяется в осадок при pH воды 10,2—10,3 (см гл XIII, стр. 258), приходится добавлять суль-

фат или хлорид магния Дозы их $Д_{Mg}$ в *мг/л* рассчитывают по формуле

$$Д_{Mg} = e[2(F^- - 1) - Ж_{Mg}], \quad (201)$$

где F^- — содержание в исходной воде фтора в *мг/л*;

$Ж_{Mg}$ — магниевая жесткость воды в *мг-экв/л*,

e — эквивалентный вес в *мг/мг-экв*, для $MgCl_2$—47,5; $MgCl_2 \times 6H_2O$ — 101,6; $MgSO_4$—60,2, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$—123,2.

Дозу извести определяют по зависимостям, приведенным в гл XIII Воду известкуют в двух сооружениях (рис. 135) вначале в вихревом реакторе выделяют карбонат кальция, а затем, добавляя соли магния, накапливают в осветлителе свежеосажденную гидроокись магния. При проектировании последних принимают скорость восходящего потока воды 0,2—0,3 *мм/сек*, высоту защитной зоны и слоя взвешенного осадка по 2 *м*, концентрацию взвешенных веществ в нем 0—2000 *мг/л*.



Рис 135 Схема установки для магнезиального обесфторивания воды:

1 — подача исходной воды *2* подача раствора магниевых солей, *3* — подача известкового молока *4* — вихревой реактор *5* осветлитель, *6* — фильтр *7* — отвод обесфторенной воды

Обесфторивание воды гидроокисью алюминия, выделяющейся при обычной обработке поверхностных вод сернокислым алюминием, удовлетворительно протекает лишь при низких значениях pH воды, соответствующих образованию основных солей алюминия (pH в пределах 4,8—5,5). В соответствии с этими условиями исходную воду подкисляют, обрабатывают коагулянтом (сернокислым алюминием) в специальном оборудовании и после осветлительных фильтров подщелачивают. Расход $Al_2(SO_4)_3$ составляет примерно 30—40 *мг* на 1 *мг* удаленного из воды фтора.

Наиболее часто значительные концентрации фтора содержатся в подземных водах, не требующих иных методов обработки, кроме обесфторивания и обеззараживания. В этих случаях целесообразно применять *фильтрационные способы* удаления фтора из воды.

Обесфторивать питьевую воду активированной окисью алюминия (Al_2O_3) рекомендуется тогда, когда количество взвешенных веществ в ней не превышает 8 *мг/л*, а общее солесодержание составляет 1000 *мг/л*. Готовят этот сорбент из товарной окиси алюминия, в ускоряемой отечественной промышленностью Ее подвергают активации путем двойного прокаливания при 800° с промежуточным охлаждением и смачиванием 15%-ным раствором кальцинированной соды

Обесфторивают воду активированной окисью алюминия в напорных или открытых фильтрах Напорные фильтры применяют типа водород-катионитовых с противокоррозионным покрытием, контакт

с которым допускается для хозяйственно-питьевой воды Покрытие должно быть устойчиво также против истирающего действия сорбента. Фильтры загружают гранулированной окисью алюминия с крупностью зерен 1—3 *мм* и объемным весом 0,5 *т/м*³. В напорных фильтрах принимают следующую толщину слоя сорбента: при содержании фтора в воде до 5 *мг/л* — 2 *м*, при 8—10 *мг/л* — 3 *м*; в открытых фильтрах при содержании фтора в воде до 5 *мг/л* — 2 *м*, при 8—10 *мг/л* — 2,5 *м*.

Высоту напорных фильтров следует определять с учетом свободного пространства над сорбентом не менее 60% высоты его слоя Высота открытых фильтров должна быть в пределах 4,5—5,0 *м*, причем расстояние от поверхности сорбента до переливной кромки желобов необходимо принимать равным не менее 60% высоты слоя сорбента и добавкой еще 20 *см*. Такие габариты фильтров позволяют проводить операции по взрыхлению и отмывке фильтрующего слоя при его регенерации.

Дренаж в фильтрах делают трубчатым из коррозионно стойких материалов или из щелевых колпачков (см. гл VII, стр. 161) В последнем случае под сорбент укладывают подстилающий слой кварцевого песка толщиной 150 *мм* и крупностью зерен 3—4 *мм*. При содержании в воде фтора до 10 *мг/л* расчетная скорость фильтрования принимается не более 6 *м/ч*, в случае отключения одного фильтра на регенерацию скорость фильтрования на остальных не должна превышать 8 *м/ч*. При проектировании установок для обесфторивания воды рабочую емкость поглощения активированной окиси алюминия по фтору можно принимать равной 900—1000 *г* на 1 *м*³ сорбента

Регенерируется активированная окись алюминия 1—1,5%-ным раствором сернокислого алюминия в расчете на безводный продукт, расход его составляет 40—60 *г* $Al_2(SO_4)_3$ на 1 *г* поглощенного фтора. Перед регенерацией слой сорбента взрыхляют в течение 15—20 *мин* при подаче воды в фильтр снизу вверх с интенсивностью 4—5 *л/сек·м*² Расчетную скорость пропускания сверху вниз через сорбент регенерационного раствора принимают в пределах 2—2,5 *м/ч* Первые его порции (70—80%) сбрасывают в канализацию, последнюю в объеме приблизительно 20% общего количества раствора используют повторно при последующих регенерациях.

Отмывают сорбент от регенерационного раствора током воды снизу вверх при 50%-ном расширении фильтрующего слоя Интенсивность отмывки сорбента принимают равной 4—5 *л/м²·сек*, продолжительность — от 30 до 45 *мин* Расход воды на отмывку принимают 10 *м*³ на 1 *м*³ сорбента, ее можно производить исходной водой.

Продолжительность цикла работы фильтра между регенерациями T в *ч* определяют по формуле

$$T = \frac{fHE}{q\left(C_0 - \frac{C_к}{3}\right)}, \qquad (202)$$

где f — площадь фильтра в $м^2$,
H — высота слоя сорбента в $м$;
E — рабочая емкость поглощения сорбента по фтору в $г/м^3$;
q производительность фильтра в $м^3/ч$;
C_0 и $C_к$ — содержание фтора в исходной воде и фильтрате в конце цикла в $г/м^3$, последнюю величину в расчетах принимают равной 1,5 $г/м^3$.

Фильтры в начале работы после регенерации обеспечивают снижение концентрации фтора в воде до 0,01—0,3 *мг/л*, затем она постепенно повышается Выключают каждый фильтр на регенерацию при остаточной концентрации фтора, зависящей от ее величины на остальных фильтрах с учетом, что обесфторивающая установка должна подавать воду потребителю с содержанием фтора не более 1—1,5 *мг/л*.

Обесфторивают питьевую воду также гидроксилапатитом $[Ca_9(PO_4)_6Ca](OH)_2$ на установках аналогичных описанным выше

Фильтры загружаются синтетическим гранулированным гидроксилапатитом с крупностью зерен 0,5—2 *мм* и толщиной фильтрующего слоя сорбента 2—3 *м*; насыпной вес его 0,8 $т/м^3$. Расчетную скорость фильтрования при содержании фтора в воде до 10 *мг/л* принимают равной 6 *м/ч* Емкость поглощения фтора гидроксилапатитом составляет 3000—4000 *г* на 1 $м^3$ сорбента При фильтровании воды с большим содержанием фтора через слой гидроксилапатита происходит обмен гидроксильных ионов сорбента на ионы фтора

$$[Ca_9(PO_4)_6Ca](OH)_2 + 2F^- = [Ca_9(PO_4)_6]F_2 + 2OH^-.$$

Регенерацию гидроксилапатита производят 1%-ным раствором едкого натра (NaOH), расход его составляет 100 *г* на 1 *г* поглощенного гидроксилапатитом фтора. Расчетная скорость пропускания регенерационного раствора сверху вниз принимается равной 5 *м/ч*. Сорбент после регенерации отмывают током воды снизу вверх при полном расширении сорбента. Интенсивность отмывки принимают 7—8 $л/м^2 \cdot сек$, продолжительность 30—45 *мин*. Отмывку можно производить исходной водой.

§ 83. Пример расчета установки по обесфториванию воды

Рассчитать установку по обесфториванию воды, получаемой из артезианских скважин, для следующих условий производительность — 144 $м^3/ч$, содержание фтора в воде 8 *мг/л*

В состав фильтрационной установки согласно указаниям (см. стр. 332) включаем напорные фильтры, заполненные активированной окисью алюминия (фильтры типа Н-катионитовых с противокоррозийным покрытием, допускающим контакт с питьевой водой с дренажом из щелевых фарфоровых колпачков), резервуар для воды, необходимый для взрыхления загрузки фильтров, баки для приготовления раствора сернокислого алюминия для регенерации

сорбента фильтров (концентрация раствора 8—10%), эжектора для разбавления 8—10%-ного раствора до рабочей концентрации 1—1,5% и подачи этого регенерационного раствора на напорные фильтры и воздуходувки, необходимые для перемешивания регенерационного раствора.

Принимая в установке количество фильтров N-6 (один резервный), определим площадь каждого из них при расчетной скорости фильтрования $v=6$ *м/ч*

$$f=\frac{q}{Nv}=\frac{144}{5\cdot 6}=4.8\ м^2.$$

По табл. 77 принимаем 6 фильтров (один резервный) диаметром 2,6 *м* с площадью фильтрования 5,3 $м^2$

Высоту загрузки сорбента в фильтре принимаем $H=2{,}5$ *м*. Над загрузкой фильтра предусматриваем дополнительную высоту $0{,}6\cdot 2{,}5=1{,}5$ *м* для размещения взвешенной загрузки. Кроме того, учитываем 150 *мм* высоты фильтра на укладки ниже слоя сорбента кварцевого песка крупностью зерен 2—4 *мм*. Рабочая высота фильтра будет $2{,}5+1{,}5+0{,}15=4{,}15$ *м*. Когда один из фильтров будет выключен на регенерацию, то скорость форсированного режима будет равна

$v_{ф.р}=6\frac{5}{5-1}=7{,}5$ *м/ч*, что меньше 8 *м/ч* (максимально допускаемой скорости фильтрования при форсированном режиме).

Длительность работы фильтра между регенерациями определяем по формуле (202)

$$T=\frac{5{,}3\cdot 2{,}5\cdot 900}{\frac{144}{5}\left(8-\frac{1{,}5}{3}\right)}\approx 55\ ч.$$

Количество воды, расходуемое на взрыхление сорбента, подсчитываем по формуле

$$q_{взр}=\frac{w_{взр}f\ 60t_{взр}}{1000}=\frac{5\cdot 5{,}3\ 60\ 20}{1000}=31{,}8\ м^3,$$

где $w_{взр}=4\div 5$ *л/сек* на 1 $м^2$ — интенсивность взрыхления,

$f=5{,}3$ $м^2$ площадь фильтра;

$t_{взр}$ — время взрыхления, равно 15—20 *мин* (0,25—0,33 *ч*)

Емкость бака для регенерационного раствора фильтров рассчитываем по формуле

$$W_р=\frac{Ef\overline{H}Д_к n}{1000b\gamma}=\frac{900\cdot 5{,}3\cdot 2{,}5\ \ 50}{1000\ \ 10\ \ 1{,}09}\approx 56\ м^3,$$

где $Д_к$ — расход сернокислого алюминия (при норме 50 *г* $Al_2(SO_4)_3$ на 1 *г* удаленного из воды фтора);

n — число регенераций, на которое рассчитана емкость бака (в нашем примере $n=1$, так как количество фильтров меньше 8);

b — концентрация раствора сернокислого алюминия; для растворных баков $b=8$—10%, для расходных $b=1$—1,5%;

γ — плотность раствора сернокислого алюминия; для 8—10%-ного раствора $\gamma=1{,}09$ *т/м*³ и для 1—1,5%-ного раствора $\gamma=1{,}01$ *т/м*³

Интенсивность подачи воздуха для перемешивания раствора в баках должна быть 8—10 *л/сек* на 1 *м*² днища бака. Скорость движения воздуха в трубах 10—15 *м/сек*, в отверстиях $d=3$—4 *мм* — 20—30 *м/сек* 1—1,5% ный раствор для регенерации подается на фильтр со скоростью фильтрования 2—2,5 *м/ч*. Отмывка сорбента (поток воды снизу вверх) производится с интенсивность 4—5 *л/сек·м*². При отмывке расходуется 10 *м*³ воды на 1 *м*³ сорбента. В нашем примере расход воды на отмывку одного фильтра

$$q_{отм} = fH \cdot 10 = 5{,}3 \cdot 2{,}5 \cdot 10 = 122{,}5 \ м^3.$$

Продолжительность отмывки

$$t_{отм} = \frac{q_{отм}}{w_{отм} f} \frac{1000}{3600} = \frac{122{,}5}{5} \frac{1000}{4{,}9} \frac{}{3600} = 1{,}4 \ ч.$$

ГЛАВА XVII

ОЧИСТКА И ОБРАБОТКА ВОДЫ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 84. Основные требования к оборотным циклам водоснабжения

Система водоснабжения промышленных предприятий, как правило, должна устраиваться с оборотом воды Прямоточное или последовательное ее использование со сбросом отработанных и очищенных сточных вод в водоем допускается лишь в случае невозможности или нецелесообразности создания оборотной системы водоснабжения

Вода, циркулирующая в системе оборотного водоснабжения, обычно многократно нагревается и охлаждается; часть ее при этом испаряется, в результате чего повышается концентрация растворенных солей. Такая вода склонна к накипеобразованию, отложению продуктов кислородной коррозии и механических взвесей; в ней могут появиться микроорганизмы, обусловливающие цветение водоемов и биологическое повреждение деревянной аппаратуры. При проектировании систем водоснабжения необходимо учитывать анализ природной воды, используемой для пополнения ею системы, характеристику изменений отработанной воды, возможные методы очистки и регулирование ее состава и свойств, а также опыт эксплуатации действующих установок, работающих в аналогичных условиях. Состав и производительность технологических сооружений для очистки, обработки и охлаждения оборотной воды подбирают при условии максимальной нагрузки на них в летнее и зимнее время, предусматривая также периодический ремонт.

Для принятой схемы оборотного водоснабжения составляется баланс воды в замкнутом цикле, включающий безвозвратное потребление и потери ее, необходимый сброс и пополнение воды в системе

Требования к качеству воды, поступающей на производственные нужды, в каждом конкретном случае определяют технологи соответствующей специальности. При прямоточных, последовательных и оборотных системах водоснабжения вода должна соответствовать следующим требованиям она не должна выделять карбонатных отложений, вызывать коррозию и способствовать биологическим обрастаниям технологического оборудования, в меру надобности она очищается от механических взвесей. Таким образом, при оборотном водоснабжении из воды удаляются гетерофазные примеси и регулируется состав гомофазных компонентов. Методы обработки, применяемые для удаления первых, приведены в § 85 и 86, а методы корректирования состава изложены в § 87 и 88 настоящей главы [10, 21, 28, 171—173].

§ 85. Очистка добавочной и оборотной воды от взвешенных веществ

Механические примеси удаляют из воды, циркулирующей в оборотной системе, и из воды, поступающей на ее пополнение, следующим образом

процеживанием через барабанные сетки или микросита;

осаждением в песколовке, гидроциклоне, радиальном отстойнике или осветлителе со взвешенным осадком, пруде-осветлителе (шламонакопителе),

фильтрованием через зернистые загрузки фильтров

Для природной добавочной воды выбор и расчет технологических установок и сооружений приведен в предыдущих главах, с некоторой корректировкой они применимы и для оборотной воды.

Пруд-осветлитель обычно представляет собой водоем значительных размеров, в котором вода протекает с очень небольшой скоростью и ее можно считать неподвижной. Реальная взвесь в оборотной воде полидисперсна, поэтому экспериментально определяют скорость ее осаждения $u_{мин}$, при которой обеспечивается допустимая остаточная концентрация взвешенных веществ в осветляемой воде Активная площадь пруда при этом составляет

$$F = \frac{q}{3{,}6u_{мин}} \ м^2, \qquad (203)$$

где q — количество очищаемой воды в $м^3/ч$.

Практически установлено, что для удовлетворительного отстаивания 1 $м^3/ч$ оборотной воды необходимо иметь 7—10 $м^2$ водной поверхности в пруде-осветлителе, с глубиной не менее 1 $м$ до уровня осадка, исключая слой льда в зимний период. При ограниченной площади его рассчитывают как горизонтальный отстойник.

§ 86. Методы борьбы с цветением и биологическим обрастанием

Повышенная температура оборотной воды создает предпосылки и благоприятные условия для развития микроорганизмов, осложняющих работу технологического оборудования. Разработка методов борьбы с цветением водоемов и биологическим обрастанием в системе оборотного водоснабжения должна основываться на опыте эксплуатации аналогичных сооружений, а также систем с прямоточным, последовательным и повторным использованием воды.

В целях *предотвращения цветения водохранилищ* и прудов-охладителей воду в них обрабатывают медным купоросом. Доза его для водохранилищ составляет 0,5—1 *мг/л* по иону меди или 2—4 *мг/л* по техническому продукту ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) в расчете на объем верхнего слоя воды толщиной 1,5—2 *м*, для прудов охладителей дозу принимают равной 0,3—0,5 *мг/л* по иону меди, считая на весь объем воды в нем. Обработку медным купоросом производят — в первом случае распылением по поверхности воды кристаллических до 1,5—2 *мм* кристаллов реагента, во втором — дозированием раствора технического купороса в поступающую воду.

Растворы медного купороса применяют для *борьбы с дрейссеной, балянусом,* мидиями и др. в водозаборных сооружениях и трубопроводах и, кроме того, для *предупреждения обрастания* водоподающими градирен, брызгательных бассейнов и оросительных теплообменных аппаратов. Обработку производят периодически. Количество 1 *ч*, применяемая дозировка составляет 1—1,5 *мг/л* по иону меди (4—6 *мг/л* по товарному продукту). По данным [21] рекомендуется следующая периодичность: для водозаборных сооружений и трубопроводов — через каждые двое суток, раствор вводят перед водозабором; для охладительных устройств — 3—4 раза в месяц в период с температурой воздуха более 10°С.

Дозы медного купороса следует увеличивать на 0,2 *мг/л* (по иону меди), если перманганатная окисляемость воды превышает 15 *мг/л* O_2 или в воде содержится более 10 *мг/л* нефтепродуктов, а также на каждый 1 *мг-экв/л* щелочности сверх 3,5 *мг-экв/л*.

Продолжительность обработки, периодичность и дозировка реагента при купоросовании воды уточняются в процессе эксплуатации в зависимости от интенсивности развития водорослей.

При проектировании установки для обработки оборотной воды раствором медного купороса емкость бака определяется по формуле

$$W_р = \frac{Д_к q T}{1000 c \gamma} \ м^3 \qquad (204)$$

где $Д_к$ — доза медного купороса (или в пересчете на ион меди) в *мг/л*;

q — расход обрабатываемой воды в *м³/ч*;

T — время, на которое заготовляется раствор в *ч*;

c — концентрация раствора, принимается от 2 до 4% по иону меди;

γ — объемный вес раствора, принимается равным 1 в *т/м³*.

Баки, лотки, трубопроводы, оборудование и арматуру, соприкасающиеся с раствс я меди, необходимо применять из коррозионно стойких материа з с надежным уплотнением.

Для *устранения бактериальных биологических обрастаний*, а также для борьбы с дрейссеной балянусом, мидиями и др. в водозаборных сооружениях и трубопроводах применяют хлорирование оборотной воды.

При вводе хлора перед водозаборными сооружениями (взамен кур ия) применяют дозу 4—10 *мг/л* в зависимости от хлоропог ности воды. В случае низкой ее величины хлорирование производят только весной и осенью, каждый раз в продолжение 7—10 дней; при большом значении хлоропоглощаемости — непрерывно в период теплого времени года (май — октябрь).

Хлорирование оборотной воды в целях предотвращения биологических обрастаний трубопроводов и теплообменных аппаратов производится периодическим. В зависимости от загрязненности ды его проводят 3—6 раз в сутки в течение 40—60 *мин*. Количество вводимого активного хлора должно обеспечивать поддержание концентрации остаточного хлора в воде 1 *мг/л* после самого ого теплообменного аппарата в продолжение –40 *мин*. Дозу хлора в *мг/л* определяют по опыту эксплуатации аналогичных систем оборотного наб жения, работающих на воде данного источника. При от ии таких данных ее можно ориентировочно рассчитать, используя формулу

$$Д_{хл} = ХПК_у + 2, \qquad (205)$$

где ХП — хлоропоглощаемость воды, добавляемой в систему в *мг/л*;

$К_у$ — коэффициент упаривания, равный $(P_1+P_2+P_3) : (P_2+P_3)$;

P_1, P_2 и P_3 — соответственно потери воды при испарении, капельном уносе и продувке (с учетом технологического использования) в проц. от расхода охлаждающей оборотной воды [21].

При определении величины хлоропоглощаемости воды в системе оборотного водоснабжения рекомендуется применять методику, приведенную в ГОСТ 2919—45, с той лишь разницей, что продолжительность контакта воды с хлором принимается не 30 *мин*, а равной времени $T_{хп}$ в *ч*, необходимом для прохождения воды от насосной станции до самого удаленного теплообменного оборудования, $T_{хп} = W/q_{охл}$, где W — объем воды в системе по этому пути в $м^3$.

Для расчета хлораторного оборудования по зависимостям, приведенным в гл. X (см. стр 208), принимают дозу хлора 5 *мг/л*, если по формуле (205) — ится меньшая величина. Хлорирование воды в системах об его водос же необходимо дозировать с применением жидкого хлора, использование хлорной извести допускается в случаях, когда расход воды составляет до 500 $м^3/ч$. Схема оборудования хлораторной при периодической обработке

воды приведена на рис 136 Хлораторы работают непрерывно, хлорная вода собирается в бак, откуда она периодически выпускается к месту хлорирования — обычно приемный колодец насосной станции. Установка автоматизирована с помощью поплавкового реле, импульс от которого управляет открытием или закрытием электрифицированной задвижки в крайних положениях поплавка.

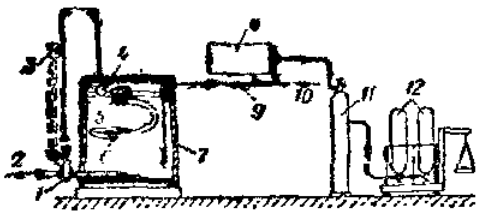


Рис. 136 Схема устан для периодического хлор зания воды

1 — задвижка с электроприводом, *2* — хлорная вода, *3* — пускатель электропривода задвижки, *4*, *5* — поплавки *6* — ющий шланг *7* — бак для хло воды *8* — хлоратор *9* эжектор, *10* — подача воды в эжектор, *11* — промежуточный баллон; *12* — баллоны с жидким хлором

Емкость бака для хлорной воды $W_{хл}$ в $м^3$ определяют по формуле

$$W_{хл} = \frac{q_{охл} T_{хл} Д_{хл}}{10000 C_{хл} \gamma_{хл}}, \qquad (206)$$

где $C_{хл}$ — концентрация хлорной воды, принимается равной не более 0,2%;

$\gamma_{хл}$ — плотность раствора хлора, принимается равной 1 $т/м^3$

остальные значения приведены выше.

Производительность хлораторов $q_{хл}$ в *кг/ч* при их непрерывной работе рассчитывают по формуле

$$q_{хл} = \frac{q_{охл} Д_{хл} T_{хл} n}{24 \quad 1000}, \qquad (207)$$

где n — число периодов обработки воды хлором в сутки

При проектировании помещений хлораторной установки, расходного склада, количества резервных хлораторов и др следует руководствоваться указаниями, приведенными в гл. X (см стр. 208).

Для устранения биологических обрастаний градирен, брызгальных бассейнов и оросительных холодильников дополнительно к купоросованию используемому для борьбы с одновременно происходящим таянием указанной аппаратуры водорослями, применяют периодическое хлорирование воды перед поступлением ее на сооружения Расчетная доза хлора — 7—10 *мг/л*, периодичность обработки 3 4 раза в месяц, продолжительность каждой — 1 *ч*. Дополнительно воду обрабатывают хлором одновременно с введением в нее раствора медного купороса или после введения его.

Доза хлора и медного купороса, а также периодичность обработки уточняются в процессе эксплуатации сооружений оборотного водо абжения Критериями для хлорирования служат величина хло оглощаемости воды и интенсивность биологических обрастаний, для купоросования — интенсивность развития водорослей

Помещения хлорато ых установок и установок для купоросования воды целесообра размещать в одном здании.

При наличии в воде железа или сероводорода возможно зарастание труб проводов продуктами жизнедеятельности железо- или серобактерий. В этом случае основным мероприятием является удаление из воды железа или сероводорода (см. гл. XI и XV) до поступления ее в водопроводную сеть. Рекомендуется также периодическое заполнение отдельных участков сети раствором хлора концентрацией 25—50 *мг/л* на срок до 1 суток.

§ 87. Предотвращение карбонатных отложений

Отложения, образующиеся в системах оборотного водоснабжения на поверхностях оборудования и трубопроводов, состоят в основном из карбоната кальция и лишь в небольшом количестве могут содержать карбонат и гидроокись магния, сульфат кальция и кремнекислоту. Описанные ниже методы обработки воды и рекомендации относятся к системам прямоточного и оборотного водоснабжения, для охлаждения теплообменных аппаратов машин и агрегатов, в которых нагрев циркулирующей в системе воды не превышает 60°С и не наблюдается ее кипения у поверхностей теплообмена, последующее охлаждение воды происходит в прудах охладителях, брызгальных бассейнах и градирнях. Потребность в обработке таких вод, выбор метода и технологического режима, предотвращающего образование карбонатных отложений, определяют на основании данных по эксплуатации аналогичных систем на водах этого же источника или результатов экспериментальных исследований этой воды на модели системы оборотного водоснабжения [171—173], а также технико-экономического сравнения различных вариантов.

При отсутствии таких сведений для систем *прямоточного и оборотного водоснабжения с прудами-накопителями* необходимость в обработке воды устанавливают, сравнивая $pH_ф$ охлаждающей воды со значением pH_s равновесного насыщения воды карбонатом кальция, величина $pH_ф$ — фактическая активная реакция воды при температуре в теплообменных аппаратах, ее рассчитывают по формуле

$$pH_ф = pH_o - A, \qquad (208)$$

где pH_o — значение pH воды, измеренное при температуре 18—20°С,

А — температурная поправка, определяется по табл. 58.

Величину pH_s находят по формуле (129) и графику (см. рис. 95). Карбонатные отложения могут наблюдаться, если $pH_ф > pH_s$ (см. гл. XII, стр. 247). Расчетную проверку следует производить для летнего и зимнего периодов года, рассматривая обработку воды для устранения карбонатных отложений, при соответствующем технико-экономическом обосновании, в те периоды, когда имеет место указанное неблагоприятное соотношение между величинами $pH_ф$ и pH_s.

Корректирование состава воды, обеспечивающее предотвращение карбонатных отложений, осуществляется кислотой (подкисле-

Таблица 58. *Величина температурной поправки А*

pH_0	Общая щелочность воды в *мг-экв/л*				
	0,5	1	2	4	8
При нагреве воды до температуры 50°С					
8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8,2	0,2	0,15	0,15	0,15	0,1
8,4	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15
При нагреве воды до температуры 60°С					
7,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7,8	0,12	0,12	0,1	0,1	0,1
8,0	0,2	0,15	0,12	0,12	0,1
8,2	0,3	0,22	0,17	0,17	0,12
8,4	0,4	0,3	0,25	0,2	0,17

ние), *углекислотой, содержащейся в дымовых газах или подаваемой* в виде газообразного, а также растворенного в воде продукта (рек [illegible] и); пол [illegible] ратами (ф [illegible] ние).

С [illegible] ных у [illegible] ок для *[illegible] воды* приведены на рис. 137 Наиболее простая установка при подаче в воду постоянной дозы концентри [illegible] серной кислоты (рис 137, *а*) применима при малых кс. [illegible] расхода воды и дозе кислоты не меньше 5—6 *л/ч*. На рис. 137, *б* приведена схема установки для

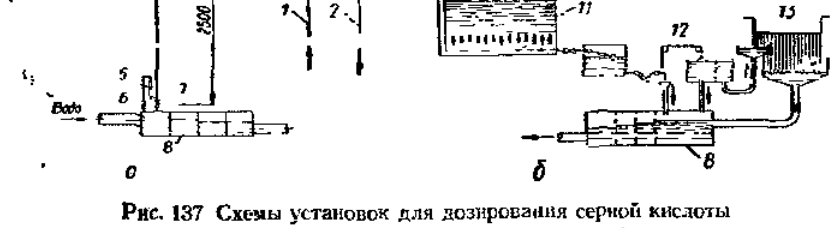


Рис. 137 Схемы установок для дозирования серной кислоты

а — концентрированной, *б* — разбав [illegible] ной, *1* — подача кислоты *2* — перелив кислоты в цистерну, *3* — бак для концентри [illegible] кислоты, *4* — кран выключения *5* — ротаметр, *6* — регулирующий кран *7* — спу [illegible] ван *8* — смеситель; *9* — мерник *10* — подача сжатого воздуха, *11* — бак для разбавлен [illegible] кислоты, *12* — дозатор пропорциональной дозы, *13* — ра [illegible] делитель воды

дозирования разбавленной кислоты пропорционально расходу воды. Более совершенной является установка для регулирования подачи кислоты по качественным показателям с контролем оптимального значения pH воды при помощи автоматического pH-метра. Следует отметить, что установки для дозирования кислот должны оборудоваться также кислотным хозяйством, описание ко-

торого приведено на стр. 286 Расчетную дозу кислоты $Д_к$ в *мг/л* определяют из зависимости

$$Д_к = 0{,}5 a Щ e_к \cdot \frac{100}{C_к}, \qquad (209)$$

где a — коэффициент, определяемый по графику (см. рис 100), исходя из значений pH воды и индекса стабильности,

$Щ$ — общ[ая] [щ]елочность охлаждающей воды в *мг-экв/л*;

$e_к$ — экв[ивал]ентный вес кислоты в *мг/мг-экв*, для серной — 49, для соляной — 36,5;

$C_к$ — содержание чистой кислоты в техническом продукте в проц.

В процессе эксплуатации дозу кислоты уточняют на основании данных технологического анализа ее стабильности (ГОСТ 3313—46).

Для обработки *воды углекислотой* из дымовых газов применяют установки, в которых углекислота растворяется в скрубберах путем барботажа через обрабатываемую воду и в [с]труйных эжекторах (рис. 138) Расчетную дозу чистой газ[ообр]азной углекислоты при рекарбонизации $Д_{тк}$ в *мг/л* определяют из зависимости.

$$Д_{ук} = 0{,}5[(CO_2)_{ст} - (CO_2)_{исх}], \qquad (210)$$

где $(CO_2)_{ст}$ — концентрация углекислоты в воде в *мг/л*, обеспечивающая стабильность воды, принимается по номограмме (см. рис. 96), исходя из величины pH_s;

$(CO_2)_{исх}$ — концентрация углекислоты в исходной воде в *мг/л*, принимается по номограмме (см. рис. 96), исходя из величины $pH_ф$.

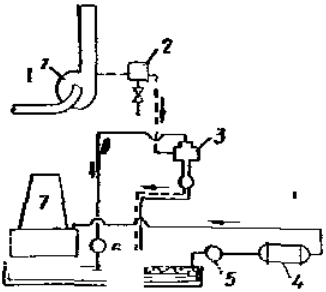


Рис. 138. Схема установки для обработки воды углекислотой дымовых газов

1 — дымосос, *2* — золоуловитель *3* — эжектор, *4* — теплообменник, *5* — насос, *6* — подача воды в эжектор, *7* — градирня.

Как и в предыдущем случае, эта доза уточняется в процессе эксплуатации путем определения стабильности воды по ГОСТ 3313—46.

При использовании для рекарбонизации воды дымовых газов, расход их $q_{д.г}$ в *м³/ч* рассчитывают по формуле

$$q_{д.г} = 5 \frac{Д_{ук} q_{охл}}{C_{уб}}, \qquad (211)$$

где $C_{ук}$ — концентрация углекислоты в дымовых газах в проц по объему, в расчетах принимается при сжигании угл 5—8%, нефти или мазута 8—12%, доменных газов 15-22%;

β — степень использования углекислоты в разных абсс ерах, в расчетах принимается для скрубберов 10%, для барботажных труб 20—30% и для водоструйных эжек торов 40—50%.

Остальные обозначения см выше

По СНиП II Г. 3 [21] для ввода в охлаждающую воду углекислоты рекомендуется применять наиболее эффективные схемы — барботаж через дырчатые трубы или поглощен в оструйных эжекторах При применении барботажа в об бат емой воде углекислота барботируется через дырчатые трубы, которые погружаются на глубину не менее 2 *м*, при применении водоструйных эжекторов только часть обрабатываемой воды насыщается в них углекислотой и затем смешивается со всей массой воды Количество воды в проц от общего ее расхода, которое пропускается через водоструйные эжекторы, определяют из соотношения

$$Z = \frac{Д_{ук}}{i_{ук}} \cdot 100, \qquad (212)$$

где $i_{ук}$ — растворимость в воде углекислоты в *мг/л* при парциальном давлении 1 *ат* и разных температурах:

t °С	10	15	20	25	30	40	50	60
$i_{ук}$	2310	1970	1690	1425	1260	970	760	500

Устройства для растворения углекислоты в воде и транспортирования ее растворов изготовляют из коррозионно устойчивых материалов Дымовые газы после сжигания твердого топлива необходимо предварительно пропускать через установки для золоулавли



Рис. 139 Схема установки для фосфатирования воды

1 — подача воды для растворения реагента; *2* — растворный бак с мешалкой *3* — расходные баки, *4* — дозировочный бачок *5* теплообменник; *6* — насос, *7* — подача добавочной воды, *8* — градирня

вания. Контроль pH воды после обработки осуществляют автоматически pH-метром

Фосфатирование воды производят растворами гексаметафосфата или трипо...фосфата натрия Дозу их в расчете на P_2O_5 принимают равной 1,5—2 *мг/л* или на товарные продукты — 3—4 *мг/л* (при содержании в них P_2O_5 50—52%). Схема установки для приготовления и дозирования растворов фосфатов приведена на рис. 139,

данные к расчету их оборудования приведены в гл. XII (см. стр. 253).

Для *систем оборотного водоснабжения* при отсутствии опыта эксплуатации *аналогичных установок и результатов модельных исследований* потребность в обработке воды для предотвращения карбонатных отложений устанавливается по данным интенсивности упаривания циркуляционной воды, потерям ею углекислоты в охладителе и химическому составу добавочной воды. При этом сравнивают величину допустимой щелочности оборотной воды $Щ_{об\ доп}$, которая может быть стабилизирована при заданных параметрах водного режима системы и химическом составе добавочной воды, с вел ичиной расчетной щелочности воды $Щ_{об.р}$, которую необходимо ...держивать при данных условиях для устранения карбонатных отложений

Первую величину в *мг-экв/л* определяют [1] из зависимости

$$Щ_{об\ доб} = \psi \sqrt{\frac{0{,}13(CO_2)_{доб}(P - P_3)}{(Ca^{+})_{доб}}} \qquad (213)$$

вторую рассчитывают по формуле

$$Щ_{об\ р} = Щ_{доб} \frac{P}{P - P_3}, \qquad (214)$$

где ψ — коэффициент, зависящий от температуры охлаждения на градирне или в брызгальном бассейне воды (табл. 59),

$(CO_2)_{доб}$ — содержание свободной углекислоты в добавочной воде в *мг/л*;

$(Ca^{2+})_{доб}$ — содержание в ней кальция в *мг/л*,

$P = P_1 + P_2 + P_3$ — добавление воды в систему в проц. от расхода оборотной воды (см формулу 205);

$Щ_{доб}$ — щелочность добавочной воды в *мг-экв/л*.

При $Щ_{об\ р} > Щ_{об\ доб}$ необходима стабилизационная обработка воды, при $Щ_{об\ р} < Щ_{об.доб}$ она не нужна, так как предотвращение карбонатных отложений достигается принятой в расчете продувкой системы и уносом из охладителей. Это может быть достигнуто лишь при небольших значениях щелочности добавочной воды (не более 1,5 *мг-экв/л*). Максимальную величину продувки рассчитывают по формуле

$$P_3 = P_1 \frac{Щ_{доб}}{Щ_{об\ доб} - Щ_{доб}} - P_2. \qquad (215)$$

Размер ее уточняется в процессе эксплуатации, причем минимальное значение принимается, когда отношение щелочности оборотной воды ($Щ_{об}$) к щелочности добавочной воды ($Щ_{доб}$) равно отношению концентрации хлоридов в этих водах.

---

[1] *В циркуляционной* воде оборотных систем водоснабжения образуются пересыщенные растворы карбоната кальция и при определении щел ности воды титрованием кислотой часто получаются завышенные результаты.

Таблица 59 *Значение коэффициента* ψ

$t_{охл}$ °C	$S_{об}$ в *мг-экв/л*						
	200	400	600	800	1600	1500	2000
15	8,04	8,68	9,18	9,56	9,94	10,70	11,30
20	7,54	8,12	8,60	8,98	9,32	10,00	10,60
25	7,12	7,65	8,07	8,42	8,76	9,41	9,97
30	6,66	7,18	7,58	7,92	8,22	8,83	9,36
35	6,21	6,69	7,08	7,39	7,68	8,24	8,76
40	5,80	6,24	6,61	6,89	7,16	7,70	8,16
45	5,38	5,79	6,13	6,39	6,64	7,14	7,56
50	4,81	5,42	5,72	5,98	6,22	6,67	7,06

Примечание Солесодержание оборотной воды вычисляют по формуле $S_{об}=S_{доб}K_1$, где $S_{доб}$ — солесодержание добавочной воды в *мг/л*, K_1 — коэффициент упаривания.

При $Щ_{об} \sim Щ_{доб}$ предотвращение карбонатных отложений продувкой системы невозможно и требуется стабилизационная обработка циркуляционной воды. Для ее осуществления используются описанные выше методы — подкисление, декарбонизация, фосфатирование, а также комбинированная фосфатно-кислотная обработка воды. В тех случаях, когда к охлаждающей воде предъявляются особые требования или наблюдаются значительные перегревы и другие кипение у поверхности нагрева, вводимую в систему добавочную воду умягчают. Если при этом необходимо и осветлить природную воду, то умягчение проводят путем известкования (см. гл. XIII, стр.) с последующим подкислением, устраняющим пересыщение воды карбонатом кальция, чистые воды умягчают Na или Н-катионированием, в последнем случае с голодной регенерацией (см. гл. XIII, стр. 275).

Проектные установки для обработки воды в системах оборотного водоснабжения, дозу кислоты в *мг/л*, необходимую для подкисления добавочной воды, рассчитывают по формуле

$$Д_к = e\left(Щ_{доб} - \frac{P-P_1}{P} Щ_{об}\right). \qquad (216)$$

Щелочность добавочной воды в *мг-экв/л* ($Щ_{доб}$) определяют по данным химического анализа, щелочность оборотной воды в *мг-экв/л* ($Щ_{об}$), устанавливающуюся при заданном качестве воды и параметрах водного режима системы, вычисляют по формуле

$$Щ_{об} = -\frac{22N^2(P-P_1)}{100} + \frac{N}{10} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{484N^2(P-P_1)^2}{100} + (100 - P)(CO_2)_{охл} + P(CO_2)_{доб} + 44PЩ_{доб}}, \qquad (217)$$

где $N = \frac{\psi}{\sqrt{(Ca^{2+})_{об}}}$; $(Ca^{2+})_{об} = \frac{P}{P-P_1}(Ca^{2+})_{доб}$.

Концентрация углекислоты в оборотной воде после охладителя $(CO_2)_{охл}$ в *мг/л* зависит от щелочности добавочной воды и коэффициента упаривания воды в системе $K_у = P : (P - P_1)$, определяется по табл 60.

Таблица 60. *Концентрация углекислоты в воде, охлажденной на градирне* $(CO_2)_0$, *в мг/л*

Щелочность добавляемой воды в *мг-экв/л*	Концентрация углекислоты									
	при подкислении					при рекарбонизации				
	Коэффициент упаривания $K_у$									
	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
1	—	0,6	0,6	0,5	0,5	0,2	0,4	0,9	1,5	2,4
2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,8	3,3	6,9	12,0	18,9
3	3,6	2,8	2,5	2,3	2,2	6,0	10,0	26	34	36
4	5,3	4,6	3,8	3,5	3,4	12	28	36	40	43
5	9,0	6,4	5,1	4,5	4,3	34	36	40	—	—
6	16,3	9,0	7,6	6,0	5,4		—	—	—	—

При подкислении оборотной воды продувка системы водоснабжения не проектируется, если не ожидается отложения сульфата кальция Проверка производится вычислением произведения активных концентраций ионов Ca^{++} и SO_4^{2-} в оборотной воде; оно должно быть значительно ниже произведения растворимости сульфата кальция при 25—60°С, а именно $ПР_{CaSO_4} = 2{,}4 \cdot 10^{-5}$:

$$f^2 [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] K_у^2 \quad ПР_{CaSO_4}, \qquad (218)$$

где f — коэффициенты активности двухвалентных ионов, определяемые по следующим данным на основании значений ионной силы раствора μ, вычисляемых для оборотной воды

μ	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	$2{,}2 \cdot 10^{-2}$	$4{,}4 \cdot 10^{-2}$	$6{,}6 \cdot 10^{-2}$	$8{,}8 \cdot 10^{-2}$	$11 \cdot 10^{-2}$	$13{,}2 \cdot 10^{-2}$
f	0,66	0,57	0,48	0,43	0,39	0,36	0,34

Ионную силу раствора рассчитывают для оборотной воды по формуле

$$\mu = \frac{K_у}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4 (C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^{2-}})], \qquad (219)$$

где $C_{HCO_3^-}$; C_{Na^+}; $C_{Ca^{2+}}$; $C_{Mg^{2+}}$ — соответственно концентрации в добавочной воде ионов бикарбонатов, натрия, кальция и магния в *г-ион/л*;

C'_{Cl^-}; $C'_{SO_4^{2-}}$ — концентрация хлоридных и сульфатных ионов в подкисленной добавочной воде в *г-ион/л*; эти величины находят с учетом дозы кислоты $Д_к$ в *мг/л*, определяемой по формуле (209) без поправки на содержание ее в товарном продукте

центрации в воде хлоридов и сульфатов, пользуясь для ориентировочных расчетов следующими данными:

$Cl^- + SO_4^{2-}$ в *мг/л*	50	100	200	300	400	500	600	650
Доза SiO_2 в *г/м³*	10	12	18	25	30	35	38	40

Для удобства дозирования жидкое стекло, представляющее собой водный раствор силиката натрия с содержанием SiO_2 до 30%, разбав до концентрации SiO_2 в пределах 2—5%.

В случае применения силикат-глыбы растворение ее целесообразно производить в фильтрах дозаторах. Последние представляют собой напорные фильтры, загруженные дробленой глыбой с размером кусков 2—7 *см*, насыпной вес их около 1000 *кг/м³*. Через такие фильтры (два рабочих и один резервный) пропускается умягченная оборотной воды с температурой не ниже 40°С со скоростью 300—500 *м/ч*. При этом концентрация силиката натрия C_{SiO_2} в *мг/л* (в пересчете на SiO_2) может быть определена по формуле

$$C_{SiO_2} = 0{,}5 \cdot 10^{-2} (1 + 2{,}3H) \left[\frac{32}{\left(\frac{v}{80}\right)^{1{,}6}} + 1{,}1 (1 + 3{,}1p) \right] \times$$

$$\times (6{,}6 + e^{\frac{t}{21}}), \qquad (224)$$

где H — высота фильтра-дозатора в *м*;

v — скорость фильтрования в *м/ч*,

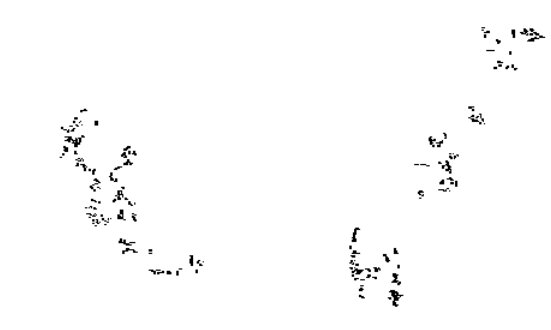
p — давление воды перед фильтром в *кг/м²*;

t — температура воды в °С;

e — основание натуральных логарифмов (2,73).

Формула выведена для кусков силикат-глыбы 5—7 *см* и кремнеземистом модуле $\frac{SiO_2}{Na_2O} = 3$. Если последняя величина составляет 2 или 2,5, то значения C_{SiO_2}, полученные по формуле (224), умножают соответственно на 1,4 или 1,2. Для кусков размером 2—3 *см* эти значения умножают на 2.

Иногда в замкнутых системах водоснабжения для борьбы с коррозией воду обрабатывают хроматами [10]. Это возможно лишь в случае умягченной воды.



ОБОРУДОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПОНОВКА СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

ГЛАВА XVIII
ОБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

§ 89. Оборудование реагентного и пескового хозяйства

Станции водоподготовки оснащаются оборудованием вспомогательного назначения и аппаратурой заводского изготовления. Она используется для механизации трудоемких процессов, контроля и регулирования работы основных сооружений, а также для частичной и комплексной автоматизации технологических процессов обработки воды. При проектировании водопроводных очистных сооружений выбору такого оборудования и аппаратуры для объектов станции должно быть уделено особое внимание. При этом современных установок и устройств, созданных на основе использования последних достижений научно-технических разработок, позволяет улучшить контроль и управление очистными сооружениями, а в ряде случаев полностью механизировать и автоматизировать работу отдельных сооружений и всей станции обработки воды в целом.

К вспомогательному оборудованию и аппаратуре заводского изготовления, применяемым на очистных сооружениях водопроводов, относятся оборудование реагентного и пескового хозяйства, дозаторы реагентов, аппаратура для хлорирования воды, оборудование фильтровальных станций, напорные и каркасно-засыпные фильтры, устройства для отмеривания растворов кислот и щелочей.

Для взвешивания реагентов, доставляемых на станции автомашинами, используют десятитонные автомобильные весы АВ-10. Механические лопаты, ленточные, винтовые и пневматические транспортеры используют для перемещения реагентов при выгрузке их из автомашин или железнодорожных вагонов. Ленточные транспортеры рекомендуется применять для глинозема, очищенного сернокислого алюминия, железного купороса [174]. Винтовые транспортеры (шнеки) ввиду их герметичности целесообразно использовать для транспортирования на расстояние в пределах 4—60 *м* таких сыпучих материалов, как негашеная известь, хлорная известь, активированный уголь и др.

Пневматические транспортеры с успехом могут быть использованы для разгрузки железнодорожных вагонов и транспортирования в бункера сернокислого алюминия или железа, извести, соды, активированного угля и др., реагентов в рыхлом (неслежавшемся)

состоянии Существуют три типа пневматических транспортирующих установок всасывающие, нагнетательные, смешанные Всасывающие пневматические транспортирующие установки применяются для подачи реагентов из разных мест разгрузки к одному месту, а нагнетательные — из одного места разгрузки в разные места. Смешанные пневматические установки целесообразно применять для транспортирования реагентов из разных мест (железнодорожных вагонов) в бункера разного назначения.

Характеристики механических лопат и ленточных транспортеров приведены в табл 61, 62.

Таблица 61 *Техническая характеристика механических лопат*

Показатель	Единица измерения	Марки	
		ТМЛ 2	ТМЛ-3
Габариты			
длина	*м*	2,74	4,11
ширина	»	0,75	1,10
высота	»	0,63	0,75
Размеры скребка	*мм*	42—76	46—80
Скорость продольного хода скребка	*м/сек*	0,84	0,80
Сила нажима скребка	*кг*	410	530
Максимальный продольный ход	*м*	8	15
Мощность мотора	*квт*	5	5,8

Таблица 62. *Техническая характеристика ленточных транспортеров*

Показатель	Единица измерения	Ширина ленты в *мм*					
		400			500		
Габариты:							
длина	*м*	6	8,5	11,0	11,0	16,0	21,0
ширина	»	1	1,3	1,6	1,6	2,0	2,5
Наибольшая высота разгрузки:							
гладкой ленты	»	1,6	2,7	3,7	3,7	5,4	7,1
ленты с планками	»	2,8	4,6	5,6	—	—	—
Наименьшая высота разгрузки		0,35	0,35	0,3	1,5	2,5	3,0
Производительность с желобчатой лентой	*т/ч*	—	60	60	90	90	90
Мощность моторов	*квт*	—	1,1	1,1	1,85	2,5	3,4

Примечание 1. Длина транспортера на 1 *м* меньше его размера в длину.

2. Производительность рассчитана для материала с насыпным весом 1 *т/м*^{3} и скорости ленты 1 *м/сек*.

3. Скорость движения ленты может быть равной 0,63, 1,0, 1,6, 2,5, 4,0 *м/сек*

Для подъема и транспортирования реагентов применяют электрические тали (тельферы). Их грузоподъемность 0,25, 0,50, 1,2, 3 *т* (ГОСТ 3472—63). Высота подъема — 6 *м*, скорость подъема — 6 *м/сек*, горизонтального передвижения — 8 *м/сек*, питание осуществляется трехфазным током напряжением 220/360 и 500 *в* через кабель или от троллейных проводов. Монорельсовый путь из двутавровых балок № 14-24.

Характеристика рекомендуемых электроталей следующая:

Грузоподъемность в *т*	0,25	0,50	1	2	3
Мощность в *квт* для:					
подъема	0,45	0,25	1,80	3,50	4,50
передвижения	0,85	0,25	0,65	0,65	1,20

На некоторых водопроводах [175] для загрузки реагентов в растворные баки применяют ковшовые элеваторы. На крупных водопроводах для этих целей используют портальные краны с грейфером.

Для приготовления известкового молока используют известегасительные аппараты за[-]ого изготовления барабанного, термо-

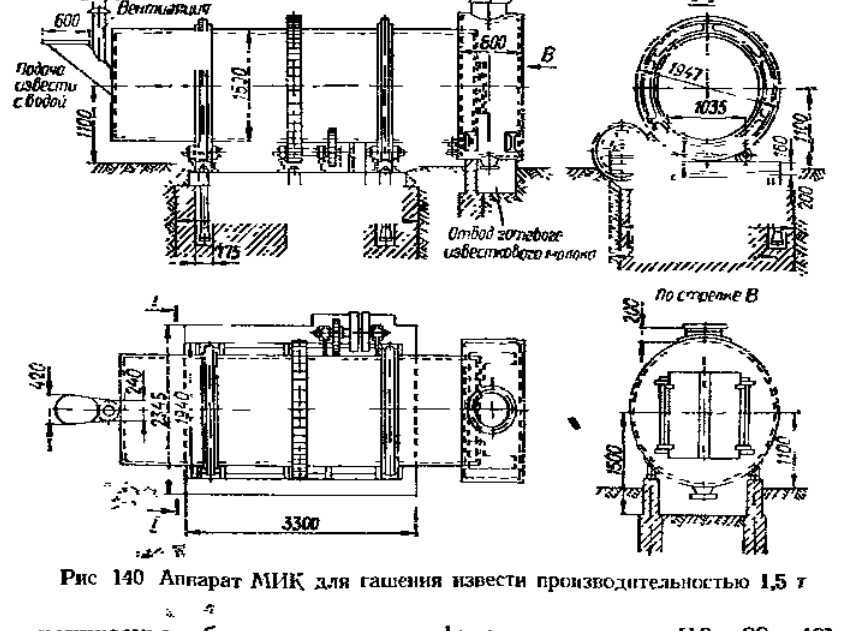


Рис 140 Аппарат МИК для гашения извести производительностью 1,5 *т*

механические, бегункового или фрезерного типа [10 28. 48] Характеристика их приведена в гл III (см. стр 87).

В аппаратах барабанного типа МИК (рис 140) известь гасится при перемешивании ее в медленно вращающегося барабана. Негасившиеся частицы идут в отвал (10—20%). Механическая лопастная известегасилка С-322 (конструкция машиностроительного завода

г. Куса) представляет собой чашу-резервуар, в которой вращается вертикаль[illegible]пастями (рис 141) В аппаратах бегункового (ЮЗ, ЮЗ-[illegible] фрезерного типа (ФИС, АЧ-2) одновременно с гашением происходит измельчение комьев бегунами или фрезами. По-

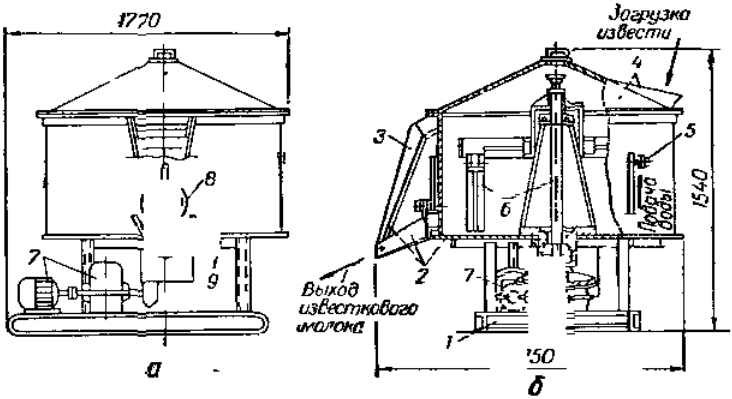


Рис. 141 Механическая известегасилка С-322

а — фасад, *б* — разрез, *1* — рама *2* — чаша резервуара со сливными лотками, *3* — сливной лоток, *4* — загрузочный бункер, *5* — вентиль для подвода воды *6* — вал с лопастями *7* — электродвигатель с редуктором, *8* — шибер для выпуска известкового молока, *9* — люк для отходов

этому отходов в таких аппаратах получается меньше (1,6—9%). Более [illegible] является тер[illegible]механическая известегасилка С-703 [illegible] типа непрерыв[illegible]о действия (рис. 142). Ова

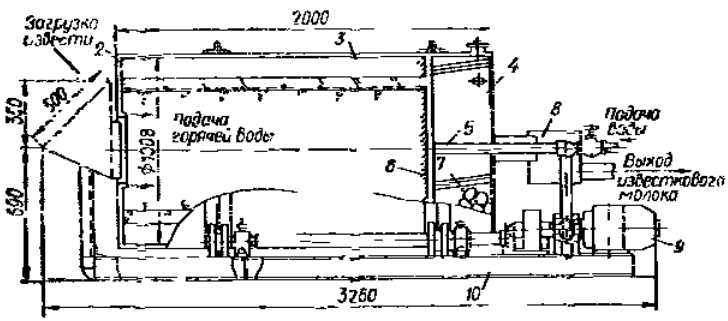


Рис 142 Термомеханическая известегасилка С-703

1 — загрузочная воронка, *2* — гасильный барабан *3* — рабочая камера, *4* — камера помола, *5* — водопровод, *6* — решетчатая диафрагма, *7* — металлические шары, *8* — лоток для слива известкового молока, *9* — электродвигатель, *10* — рама

состоит из двух цилиндров, образующих рубашку теплообменника, в котором поступающая на гашение извести вода подогревается за счет теплоты, выделяющейся в результате гидратации Внутренний цилиндр разделен решеткой-диафрагмой на рабочую камеру,

в которую загружается комовая известь, и камеру помола, где попадающая с известковым молоком крошка размалывается металлическими шарами.

На станциях обработки воды с большим расходом извести могут применяться мельницы шаровые и стержневые мокрого помола.

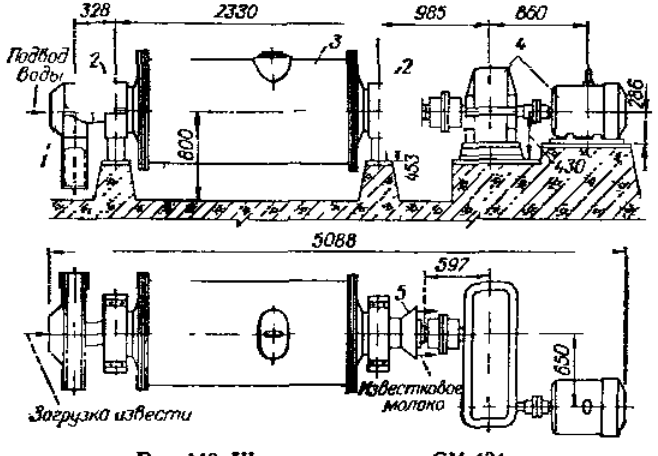


Рис. 143. Шаровая мельница СМ-434

1 — загрузочная крышка, *2* — роликовые опоры, *3* — барабан, *4* — электропривод, *5* — разгрузочная крышка.

Внешний вид шаровой мельницы СМ-434 приведен на рис. 143, характеристика их приведена в табл. 63.

Таблица 63. *...ювые и стержневые мельницы для мокрого помола извести*

Марка	Производительность в т/ч	Мощность электродвигателя в квт	Габариты (длина, ширина, высота) в мм	Вес в т	Завод-изготовитель
			Шаровые мельницы		
СМ-432	0,5—1,9	20	5088, 1800, 1700	6,2	«Стройманшина» г. Куйбышев
СМ-603А	1,5—6,0	55	7335, 2215, 2220	17,6	
СМ-601	2,9—13,3	100	9659, 3140, 2800	21,4	
			Стержневые мельницы		
СМ 435	1—2,4	20	4925, 1820, 1700	6,5	То же
СЦ-2	3—8	40	4670, 2425, 2045	13,5	Им. Котлякова г. Ленинград
СМ-602	6,5—16	100	9569, 3140, 2805	21,4	«Стройманшина» г. Куйбышев

После известегасилок известковое молоко пропускают через классификаторы или гидроциклоны. Первые представляют собой конические резервуары, верхний диаметр которых подбирается та-

...циклонов

Диаметр гидроциклонов в *мм*	Угол конусности в *град*	Диаметр сливного отверстия в долях диаметра гидроциклона	Размеры питающего отверстия в *мм*	Эквивалентный диаметр питающих отверстий в *мм*	Диаметр сливных насадок в *мм*	Высота в *мм*			Вес в *кг*
						H	H_1	H_2	
75	20	0,35—0,45	10×30; 15×30	20, 24	8 12	305	185	48	37
150	20	0,25—0,4	10×45; 20×45	24, 34	12, 17	695	350	110	115
250	20	0,2—0,5	20×65; 30×65	41, 50	17, 24	1070	440	145	251
350	20	0,2—0,4	20×90, 40×90	48	24, 34	1450	535	190	424
500	20	0,2—0,4	20×140, 40×140	60	24, 34	2015	670	275	772

Таблица 65. *Техническая характеристика лопастных мешал...*

Марка	Объем бака в $м^3$	Размеры в *мм*							Число оборотов в *мин*	Мощность электродвигателя в *квт*	Вес в *кг*
		D	*h*	*b*	A_1	*A*	*d*	*H*			
МЛ-1,5×1,5	2,2	1500	1500	1300	1180	407	100	2595	36	1	284
МЛ-2×2	5,5	2000	2000	1800	1610	427	125	3095	29	1,7	315
МЛ-2,5×2	8,5	2500	2000	2300	1640	427	125	3095	22	1,7	317
МЛ-3×3	19,0	3000	3000	2800	2570	527	150	3980	19	2,8	533
МЛ-4×3	35,0	4000	3000	3800	2570	527	150	3980	14	2,8	548

ким образом, чтобы скорость восходящего потока известкового молока в этом сечении не превышала 3—5 *мм/сек*.

Внешний вид гидроциклонов, выпускаемых Уфимским заводом горного оборудования, приведен на рис 144, их основные размеры даны в табл 64, производительность см. в гл. III, стр 86 [48]

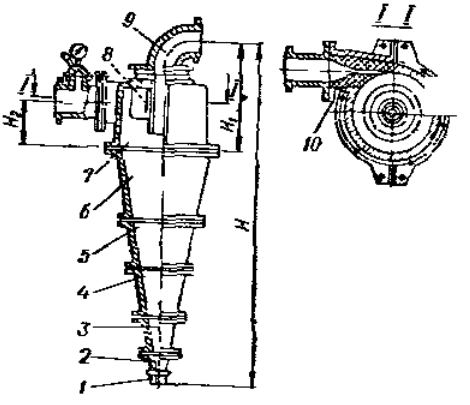


Рис 144 Напорный гидроциклон
1 — корпус выпуска, *2—6* — сменные насадки для выпуска осадка *7* — корпус, *8* — питающее отверстия *9* — сливной патрубок *10* — сменные вкладыши питающего отверстия

Известковое молоко наиболее часто перемешивается лопастными или гидравлическими мешалками, реже для этой цели применяют сжатый воздух Общий вид лопастных мешалок (мутилок), изготовляемых Уфимским заводом горного оборудования, показана на рис. 145, характеристика их приведена в табл 65 [48].

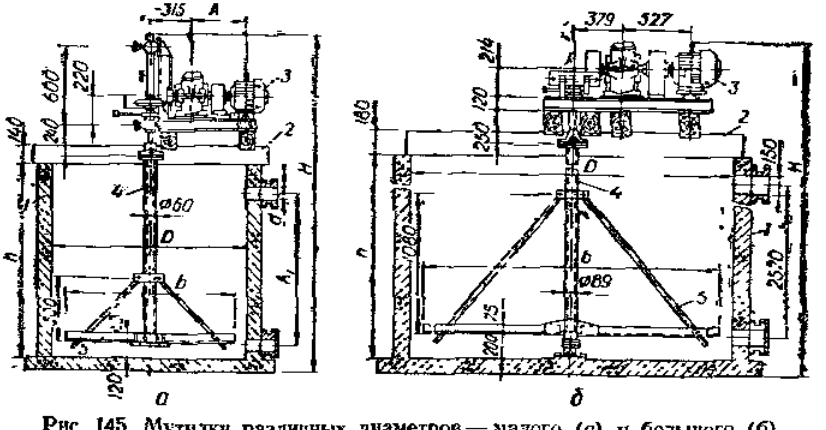


Рис 145. Мутилки различных диаметров — малого (*а*) и большого (*б*)
1 — железобетонный бак; *2* — опоры, *3* — рама с механизмом привода, *4* — вал, *5* лопасти

Циркуляционные мешалки Таганрогского котельного завода даны на рис 146, а их размеры представлены в табл. 66.

Как уже отмечалось в гл. III, для приготовления известкового раствора на станциях малой производительности применяют са-

Таблица 66 *Техническая характеристика циркуляционных мешалок*

Марка	Объем резервуара в $м^3$	Размеры в *мм*						Вес в кг
		$D_у$	H	H_1	H_2	A	B	
М-1	1	1200	1710	1615	1080	650	754	236
М-2	2	1600	1926	1860	1195	850	954	335

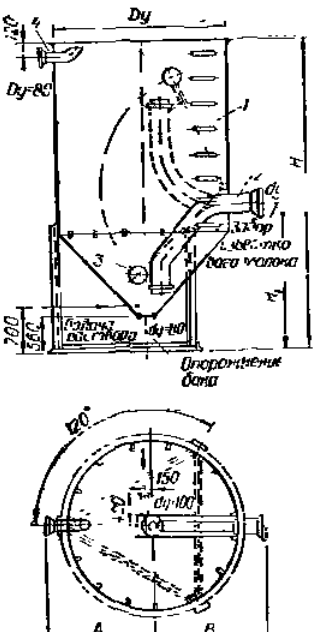


Рис 146 Гидравлическая циркуляционная мешалка

1 — корпус, *2*, *3* — патрубки для отбора и подвода известкового молока, *4* — перелив

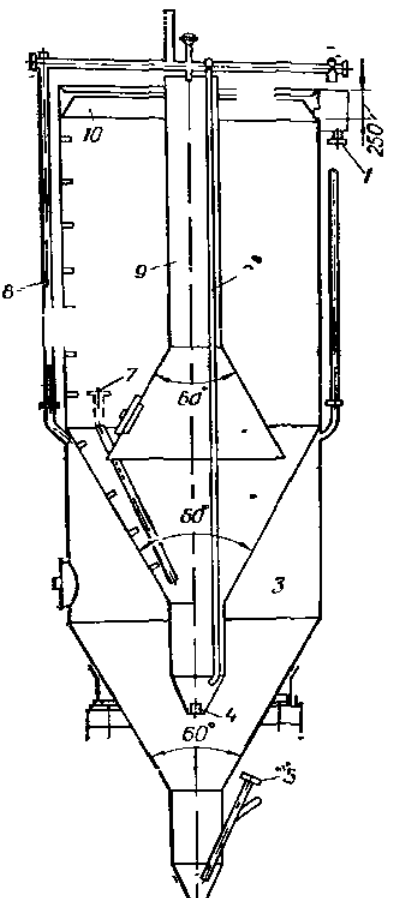


Рис 147. Сатуратор двойного насыщения

1 — отводной патрубок *2*, *8* — трубы для отвода известкового раствора *3* — нижнее отде... *4*, *6* — клапаны *5* — труба для ... ода воды *7* — труба дка подвода известкового молока *9* — труба для отвода воздуха, *10* — сборный желоб.

Таблица 67. *Техническая характеристика сатураторов двойного насыщения*

Объем в $м^3$	Основные размеры в *мм*										Вес в *т*	
	ты в *мм*		Площадь верхнего сечения в $м^2$								сатура-тора	нагру-зочный
	D_{II}	H		d_1	d_2	h	h_1	h_2	h_3	h_4		
3,4	1010	5200	0,8	65	50	4205	240	3900	305	1300	0,9	5
7,3	1338	6480	1,45	80	80	5505	275	4890	615	1600	1,6	10
11,7	1678	6785	2,8	80	80	5618	300	4890	72	1895	2,1	15
17,0	2008	7055	3,2	80	88	5740	280	4890	850	5	2,6	21
26,5	2350	8110	4,3	100	80	6515	280	5585	930	5	3,7	33
35,0	2678	8394	6,6	100	100	6585	320	5585	1000	9	4,8	48
50,7	3010	9	7,1	100	100	7457	340	6	1172	0	5,9	62
61,0	3310	2	8,6	100	100	7395	330	6	1255	2	6,2	73
102	4022	1 5	12,6	100	100	8372	328	6	1392	3904	9,3	122
138	4604	1, ,0	16,6	200	125	8520	370	7	1520	4350	12,3	160
310	6690	13200	35,0	200	150	8985	310	7000	1980	6200	22,1	360

Таблица 68. *Техническая характеристика водокольцевых воздуходувок*

Марка	Производительность в $м^3/мин$	Избыточное давление в *м вод ст.*	Расход воды в $м^3/ч$	Габариты агрегатов (длина, ширина, высота) в *мм*	Мощность электродвигателя в *квт*	Вес агрегата в *кг*
ВК-1,6	0,91—1,58	10—3	До 0,48	1975×1128×945	7	424
ВК-3	2,09—3,48	10—3	0,48	1965	14	499
ВК-6	4,9—6,3	10—3	До 0,96	1 1030	24	824
ВК-12	10,3—10,5	8—3, 3—8	До 3,6	2 1240	40	1380
РМК-2	3,6	14	1,8	1 ×1375×1418	14—16	610
РМК-3	11,5	20	3,8	2 ×1430×1580	34—40	1460
РМК-4	27,0	21	7,2	3130×1600×1570	75—100	2640

тураторы двойного насыщения, внешний вид их приведен на рис. 147, габаритные размеры в табл. 67.

Раствор коагулянта обычно перемешивают сжатым воздухом Для этого используют водокольцевые воздуходувки типа ВК и РМК (рис. 148), их характеристики даны в табл 68 Для работы этих воздуходувок необходима подача уплотняющей рабочей воды,

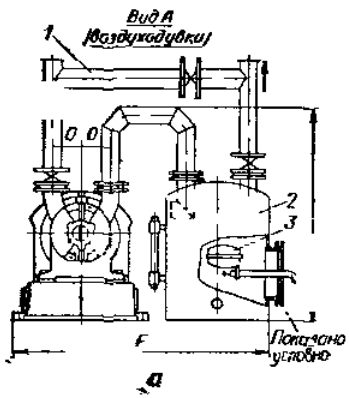


Рис. 148. Водокольцевые воздуходувки
а — марки ВК *б* — марки РМК *1* — перепуск *2* — газосборник *3* — водоотводчик *4* — слив воды *5* — уровень воды в баке, *6* — подвод воды в сальник

часть ее расходуется на охлаждение и уплотнение сальника, другая часть охлаждает и пополняет водяное кольцо В нагнетательную линию одновременно с г[illegible]ом выбрасывается вода, поэтому на ней устанавливаются водосборники.

Перекачка растворов сернокислого алюминия, кислот и других агрессивных сред осуществляется насосами типа ХД Для известкового молока используются песковые типа Пс и фекальные типа Ф Конструктивно они представляют собой центробежные консольные одноступенчатые с односторонним подводом жидкости к рабочему колесу горизонтальные агрегаты, поставляемые комплектно с электродвигателями на общей фундаментной плите (рис. 149). Характеристика наиболее часто используемых в реагентном хозяйстве насосов приведена в табл. 69.

Таблица 69. *Техническая характеристика насосов типа* ХД, Пс, Ф

Марка	Производительность в $м^3/ч$	Полный напор в *м вод ст*	Мощность электродвигателя в *квт*	Габариты (длина, ширина, высота) в *мм*	Вес агрегата в *кг*	Завод изготовитель
Насосы для агрессивных жидкостей						
1,5Х-9Д-1-41	6—14	20—14	2,8—4,5	960×375×400	138	Катайский насосный
				1040×405×400	180	
2Х-9Д-1-41	11—22	25—17	4,5—7	1050×405×400	176	
				1100×405×330	180	
3Х-9Д-1-41	29—54	35—27	14—22	1378×485×460	294	
				1400×485×460	357	
Насосы песковые						
3Пс-9б	25—75	12—9	7	1385×730×595	370	Уфимский горного оборудования
3Пс-9а	30—90	16—11	10	1490×730×595	440	
3Пс-9	40—100	20—15	14	1490×730×595	460	
Насосы фекальные						
8Ф-12	18—90	12,6—7,8	4	1125×300×450	145	Рыбинский машиностроительный

Известковое молоко к местам потребления подают по обычным стальным трубам, избегая малых радиусов при поворотах. Для транспортирования агрессивных жидкостей и газов в реагентном хозяйстве используют пластмассовые трубы и резинотканевые рукава. Винипластовые трубы с условным проходом от 6 до 250 *мм* поставляются Владимирским химическим заводом и Охтинским химическим комбинатом по ТУ 4251—54 МХП. Полиэтиленовые трубы изготовляются по МРТУ 6-05-917—67 из полиэтилена высокой плотности (ПВП) с условным проходом 10—300 *мм* Дзержинским заводом по переработке пластмасс и по МРТУ 6-05-918—67 из полиэтилена низкой плотности (ПНП) с условным проходом 6—150 *мм* Рижским заводом полиэтиленовых изделий Трубы из фторопласта -4 с условным проходом 50—400 *мм* по МРТУ 6-05-987—68 изготовляет Нижне-Тагильский завод пластмасс

Наиболее коррозионностойкими являются фторопластовые трубы, рабочее давление для них — 3 *кгс/см*^{2}, эксплуатационный температурный перепад составляет от —60 до +25°С. Полиэтиленовые трубы из ПВП более стойки к окислению, чем трубы из ПНП, для первых эксплуатационный перепад температур лежит в пределах от —30 до +70°С, а для вторых от —30 до +50°С Изготовляются полиэтиленовые трубы для условных давлений в *кгс/см*^{2} 2,5 (тип Л), 4 (тип СЛ), 6 (тип С) 10 (тип Т). Винипластовые трубы допускают узкий температурный перепад от —10 до +50°С, поставляются они на условное давление 6 *ати* (условный проход до 60 *мм*) и 2,5 *ати* (условный проход до 250 *мм*).

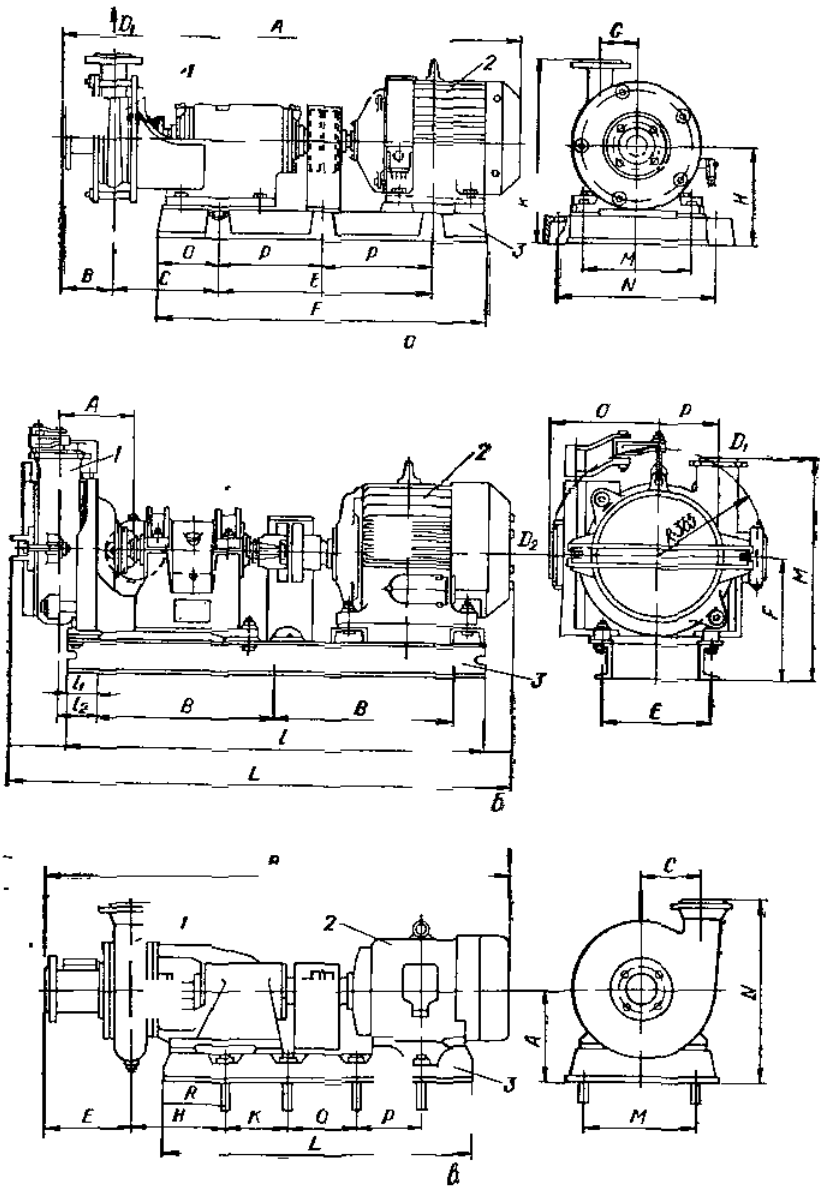


Рис 149 Насосы для перекачки реагентов

а — марки ХД, *б* — марки Пс *в* — марки Ф, *1* — насос; *2* — электродвигатель, *3* — рама.

Резино-тканевые рукава с металлическими спиралями изготовляют по ГОСТ 8496—57 с внутренним диаметром от 16 до 325 *мм* трех типов: В — для воды, Г — для воздуха, кислорода и нейтральных газов, КЩ — для растворов неорганических кислот и щелочей с концентрацией до 20%.

Из полиэтилена высокой плотности промышленность изготовляет тройники, крестовины, угольники, отводы, муфты соединительные, переходы для условных переходов 15—50 *мм* (муфты соединительные до 150 *мм*), из винипласта для условных проходов 15—100 *мм* тройники и колена с фланцами и гладкими концами, а также переходы фланцевые.

Для коммуникаций реагентного хозяйства применяют вентили фланцевые, диафрагмовые, футерованные и вентили фланцевые шланговые с электроприводом.

В процессе эксплуатации фильтров наблюдаются потери фильтрующей загрузки (песка, дробленого антрацита, мраморной крошки и др.). Для приготовления и хранения постоянного запаса отсортированного, промытого фильтрующего материала, необходимого для периодической загрузки фильтров, на очистных сооружениях в специальном здании расположенном в непосредственной близости к фильтрам, должно быть организовано песковое хозяйство. В нем устраивают закрома (или площадки) с бетонными или асфальтовыми полами для хранения запаса отсортированного и промытого песка, антрацита и др., площадки для временного хранения неотсортированных и непромытых фильтрующих материалов, устанавливают механизмы для дробления и рассева антрацита, аппаратуру для сортировки, мойки и транспортирования фильтрующих материалов.

Запас песка и дробленого антрацита следует иметь в количестве, необходимом для загрузки одного фильтра, или в количестве, предусмотренном годовым планом догрузки и загрузки фильтров.

Для дробления антрацита и мраморной крошки рекомендуется применять следующие агрегаты: молотковую мельницу ММД-300 производительностью 4—5 *т* в сутки, молотковую дробилку СМ-455 производительностью 5—6 *т/ч*, комбинированную щековую дробилку с вальцами СМ-165А производительностью 4 *т/ч*.

Рассев дробленого антрацита производят при помощи агрегата сит «Бурат» СМ-237 производительностью 1,5 *т/ч*.

Фракционирование и одновременно промывка фильтрующего материала также могут осуществляться гидравлическим путем в установке, схема которой приведена на рис. 63

Фильтрующий материал на фильтры подают в виде пульпы при помощи песковых насосов или гидравлического транспортера. При изготовлении последних в местных условиях можно применять эжекторы ЭВ-200 или ВСН-50 [136].

§ 90. Дозаторы реагентов

Существуют дозаторы постоянной дозы и пропорциональные. Пропорциональные дозаторы изменяют подачу реагентов в зависимости от кол ства в подаваемой на очистные сооружения.

Широкое р простр получают дозаторы реагентов, основанные на контроле фактической дозы.

Простейший тип дозатора посто ной дозы для легко растворимых реагентов приведен на рис. 1 Благодаря шаровому крану

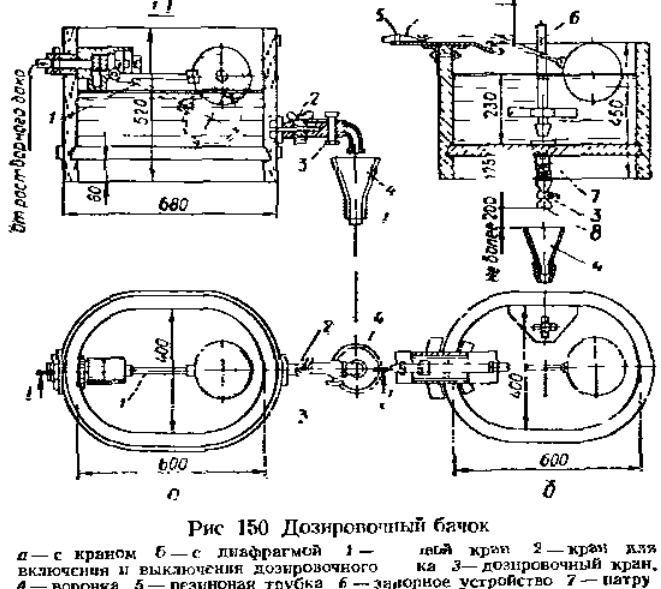


Рис 150 Дозировочный бачок

а — с краном *б* — с диафрагмой *1* — ный кран *2* — кран для включения и выключения дозировочного ка *3* — дозировочный кран, *4* — воронка, *5* — резиновая трубка *6* — заборное устройство *7* — патрубок, *8* — штуцер

уровень раствора над дозирующим краном, а следовательно, и количество вытекающего через кран реагента остается постоянным. В чае замет цего крана диафрагмами засорение дозат а значите ается. К этой же категории принадлежит поплавковый дозатор Хованского (рис. 151), состоящий из поплавка, пом но в растворный бак. Такой поплавок по ет й глубине под уровнем раствора трубу, соединенную с выпускным гибким шлангом Поплавок ускается и поднимается в зависимости от уровня твора в баке, поэтому напор над отверстием, скорость истеч я и подача раствора остаются постоянными. Для предотвращения подсасывания в конце рукава и поплавка установлена возд ная т ка, пр янная к поплавку и трубке дозатора. Изме ие ра да до ором достигается соо вук й заменой калиброванной

шайбы. В небольших пределах расход раствора коагулянта регулируют, изменяя глубину погружения поплавка в раствор.

Для дозирования известкового молока, которое может засорять дозирующее устройство, рекомендуется применять дозаторы специальных конструкций. Схема применяемого в типовых проектах

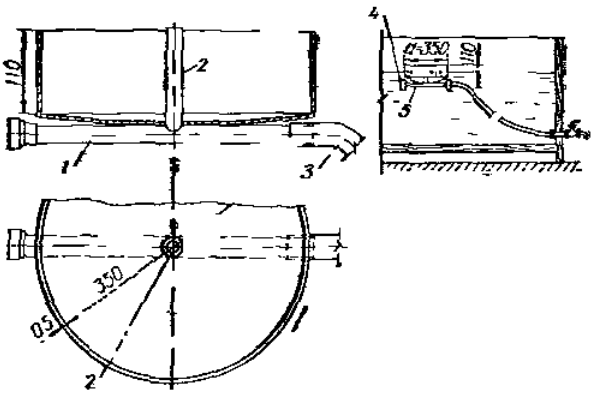


Рис 151 Поплавковый дозатор Хованского
1 — основная труба, *2* — воздушная трубка *3* — резиновый шланг, *4* — шайба — диафрагма, *5*— поплавок

циркуляционного дозатора известкового молока, приведена на рис. 152.

В последние годы для дозирования растворов применяют плунжерные насосы-дозаторы типа НД и винтовые насосы марки 1В6/10Х (рис 153). Их преимущество заключается в возможности подачи растворов реагентов [illegible] участок [illegible] в [10]. В случае [illegible] я несколь[illegible]х [illegible]ентов могут быть использованы дозировочные агрегаты типа ДА. В табл 70 приведены характеристики наиболее пригодных для водоподготовки насо-

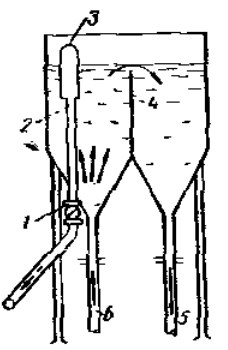


Рис. 152. Схема гидравлического дозатора известкового молока:
1 — запорный кран, *2* — измер[illegible]ьная диафрагма, *3* — дужка для вытаскивания измерительных диафрагм *4* — передняя стенка *5* — труба для отвода [illegible]ятка известкового молока, *6* — труба для подачи известкового молока в дозатор.

сов НД, выпускаемых Рижским турбомеханическим заводом Основные данные для насосов 1В6/10Х, изготовляемых Киевским машиностроительным заводом им. М. И. Калинина, следующие. по[illegible]а при помощи [illegible]кого вариатора типа ВЦД изменяется в [illegible]елах от 0,5 до 6 *м³/ч*, полный напор составляет 40 *м* [illegible]. *ст.*, [illegible]сть электродвигателя — 2,8 *квт*, вес агрегата 382 *кг*.

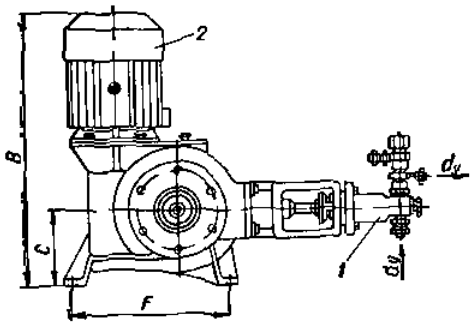
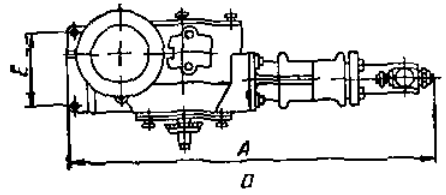
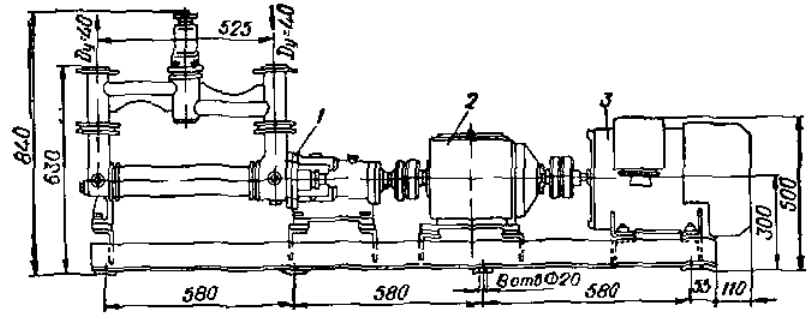


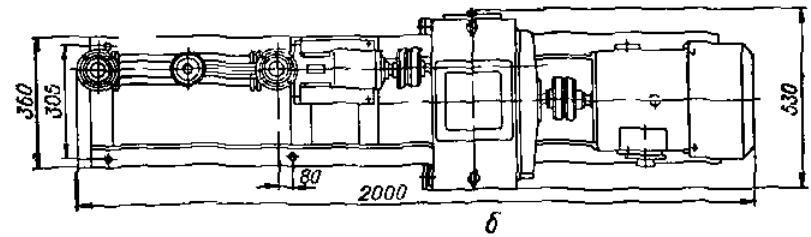
Рис. 153 Насос-дозатор типа НД (*а*) и винтовой насос марки 1В6/10Х (*б*),

1 — насос, *2* — электродвигатель, *3* — вариатор



а





б

Для процесса углевания в НИКТИ городского хозяйства УССР разработан дозатор-смеситель (рис. 154), при помощи которого можно дозировать пылевидный уголь и смешивать его с водой [176].

При колебаниях расхода обрабатываемой воды дозирование растворов реагентов необходимо производить пропорциональными дозаторами. В них расход регулируется соответственно изменению подачи воды на очистку. В небольших установках такое регулирование осуществляется гидравлическим путем с применением распределителей воды.

На рис. 155 приведен простейший автоматический дозатор струйного типа для подачи в воду осветленных растворов реагентов (хлорная вода, хлорная известь, раствор коагулянта и др.); применяется он в условиях работы небольших водопроводов [177].

При пропорциональном регулировании подачи реагентов мож пользовать также поз ые регуляторы расходомеров, учитывающих поступление воды и реагентов на очистку. Их контакты соединяются с краном, регулирующим подачу растворов реагентов [178].

В последнее время широкое распространение получили д торы, раб ых осно а на ис ии качественного принципа регулирования технологического процесса путем поддержания оптимальной дозы реагентов в с бабатываемой воде Регули ование подачи коагулянта в воду по фактической его дозе осуществляется при помощи приборов конструкции Ци вили и Крымского, а также при помощи установки лаборатории химии и технологии воды ИОНХ АН УССР.

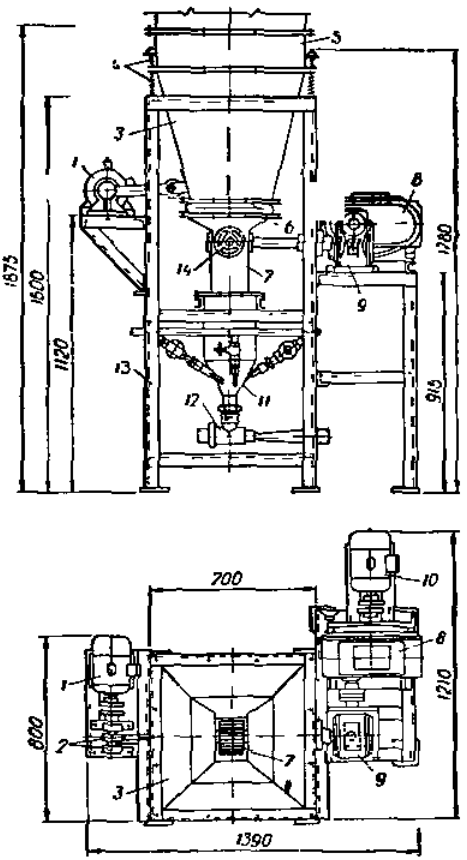


Рис. 154 *Дозатор для порошкообразного активиро угля*

1 — электродвигатель э ка *2* — эксцентрик, *3* — расходный бункер, *4* — пружина, *5* — патрубок, *6* — мех из бретента *7* — зубчатый барабанный питат ° ~~ атор, *9* — уктор чер вячный, *10* — гель к в гору *11* — смывочное ус — гидроз тор, *13* — рама, *14* — маховик заслонки.

Таблица 70. *Техническая характеристика насосов-дозаторов типа* НД *на* P_y — *10 кгс/см²*

Тип	Производительность в л/ч	Мощность электродвигателя в квт	Основные размеры в мм						Вес агрегата в кг
			A	B	C	F	F	d_y	
НД 160/10	160	0,6	710	580	120	275	180	12	80
НД-400/10	400	1,0	840	634	145	312	195	15	108
НД-630/10	630	1,1	875	653	145	342	195	15	115
НД- /10	1000	2,8	906	687	145	342	195	20	134
НД- /10	1600	3,0	965	840	—	350	—	32	—
НД-2500/10	2500	3,0	975	840	—	350	—	40	—

Первичным датчик дозатора конструкции Цирлина, Чейшвили и Крымского [179] состоит из двух электролитических ячеек с компенсирующей ячейкой, помещенной в сосуд (рис 156) В одну ячейку поступает речная вода, в другую — та же вода с коагулянтом Из ячеек вода сбрасывается через сосуд, в результате чего температура компенсационной ячейки будет уравниваться с температурой воды, поступающей в Вторичным прибором, реагирующим отношение показаний ячеек к сопротивлению компенсационной ячейки, является электронный уравновешенный мост

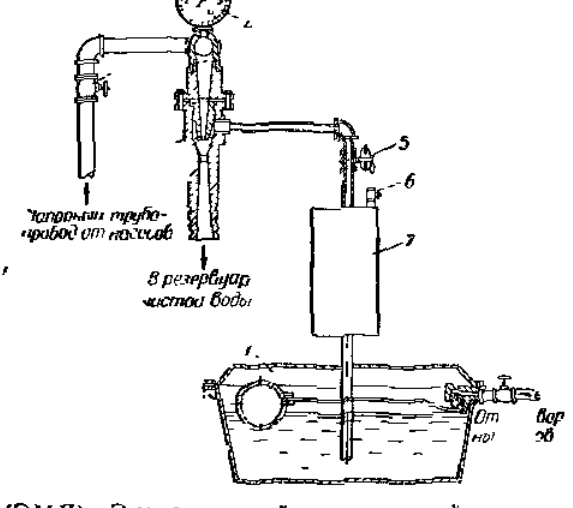


Рис. 155 Схема автоматического струйного дозатора

1 — бачок с шаровым клапаном, *2* — водоструйный насос, *3* — вентиль *4* — манометр, *5* — регулировочный кран *6* — воздушный кран *7* — устройство для контроля расхода реагента

(ЭМД). Электрический позиционный регулятор моста соединен с электродвигателем задвижки, регулирующей подачу раствора коагулянта в воду При отклонениях дозы от нормы позиционный регулятор моста дает импульсы на открытие или закрытие задвижки, поддерживая тем самым постоянную дозу коагулянта в воде. Дозатор пригоден для регулирования дозировки коагу-

лянта при очистке мало минерализованных вод (суммарная концентрация солей до 5 *мг-экв/л*), так как в сильно минерализованных водах изменение электропроводности воды при введении коагулянта очень небольшое и погрешности прибора возрастают.

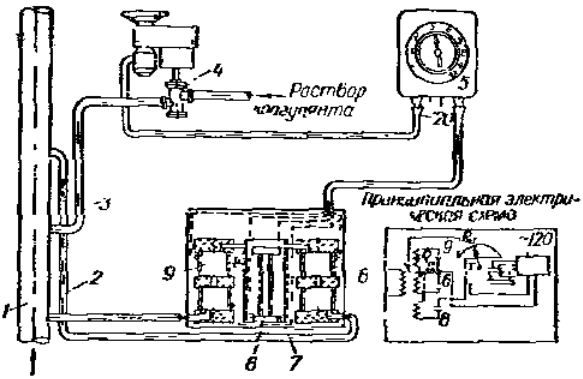


Рис. 156. Схема автоматического дозатора конструкции Цирлина, Чейшвили и Крымского

1 — трубопровод с обрабатываемой водой *2* — труба с водой после смешения с коагулянтом *3* — труба для подачи раствора коагулянта, *4* — дозировочный кран *5* — мост переменного тока ЭМД *6* — электрод для очищенной воды *7* — смесительный сосуд, *8* — компенсационная ячейка, *9* — электродный сосуд для неочищенной воды.

Дозатор раствора коагулянта системы ИОНХ АН УССР [180] изображен на рис. 157. Он состоит из бака, поддерживающего постоянный уровень раствора, пьезометрического регистрирующего расходомера и объемного мерника с электродным реле и электрическим секундомером. Электродвигатель регулировочной задвижки дозатора соединен с прибором, определяющим фактическую дозу коагулянта в воде. Последний при малой минерализации воды работает на основе контроля изменения электропроводности воды

Таблица 71 *Характеристики дозаторов* ДИМБА

Тип	Количество расходуемой извести в *т* сутки	Пропускная способность дозатора в *м³/ч*	Подача раствора к дозатору	Основные размеры в *мм*							Вес агрегата в *кг*
				a	*b*	*c*	d_{N_1}	d_{N_2}	*l*	*H*	
ДИМБА-1	2	1	2	100	250	400	40	70	800	756	45
ДИМБА 3	4	3	6	180	350	520	50	0	100	935	70
ДИМБА 10	5—10	10	15	220	400	600	5	80	1200	785	160
ДИМБА 20	15—25	20	30	320	600	800	80	100	1510	1035	246
ДИМБА-40	30—50	40	60	500	900	1195	100	100	2250	1420	490

при коагуляции. В случае сильно минерализованных маломутных вод доза коагулянта контролируется по изменению мутности воды. Дозу коаг [illegible] в пос [illegible] время предложено контролировать по *изменению* [illegible] [181]

К автоматизированным дозаторам относятся также разработанные ВНИИ ВОДГЕО конструкции дозаторов ДИМБА (дозатор из-

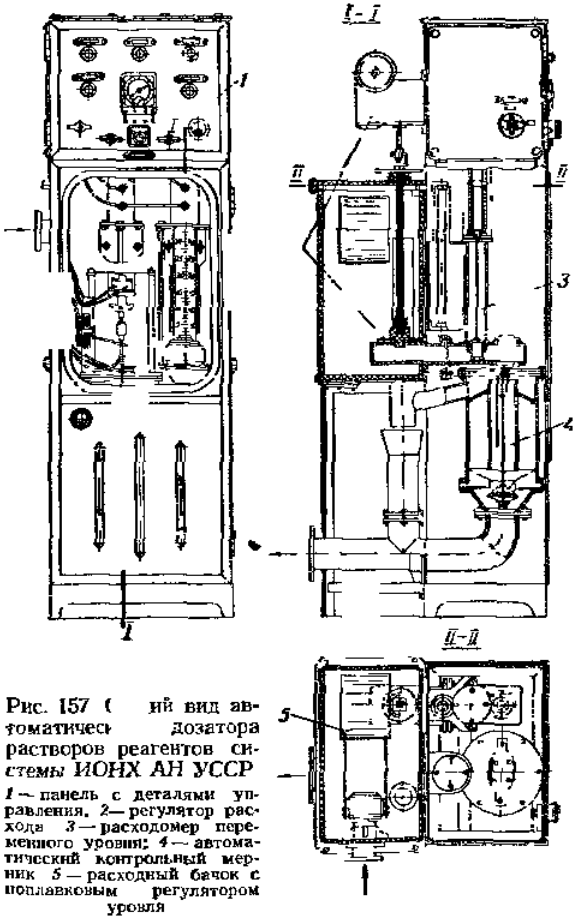


Рис. 157 [illegible] ий вид автоматическ[illegible] дозатора растворов реагентов системы ИОНХ АН УССР

1 — панель с деталями управления, *2* — регулятор расхода *3* — расходомер переменного уровня; *4* — автоматический контрольный мерник *5* — расходный бачок с поплавковым регулятором уровня

весткового молока бункерный автоматический), изображенные на рис. 158, техническая характеристика их приведена в табл. 71. Эти дозаторы циркуляционного типа; доза известкового молока в них отмеривается путем [illegible] ния с [illegible] ю падающей плоской струи ножом делителя, кото[illegible] перем[illegible] ся при помощи электродвигателя. Такие дозаторы могут блокироваться с автоматическими pH-метрами или расходомерами для воды, осуществляя регулирование

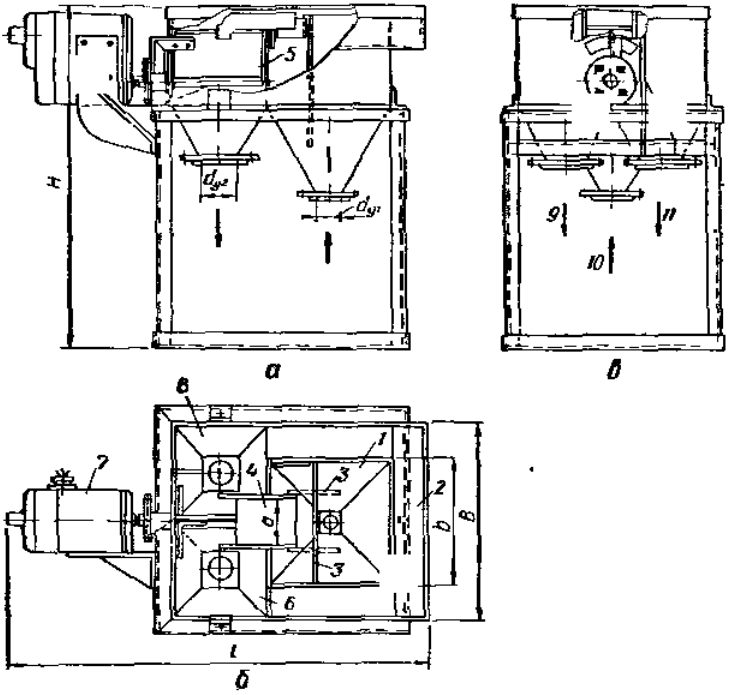


Рис. 158 Дозатор известкового молока бункерный автоматический (ДИМБА).

а — фасад, *б* — план, *в* — вид сбоку, *1* — бак постоянного уровня, *2* — охватывающий карман, *3* — стабилизирующие перегородки, *4* — лоток, *5* — нож-делитель; *6* — расходный бункер, *7* — исполнительный механизм, *8* — бункер возврата *9* — возврат известкового молока в расходный бак *10* — подача известкового молока от насоса, *11* — подача известкового молока к очистным сооружениям.

подачи реагента по заданному значению pH или пропорционально расходу обрабатываемой воды [182].

§ 91. Оборудование хлораторных

В хлораторных малой и средней производительности для контроля расхода хлора баллоны устанавливают на платформенные весы. Они могут быть гирные типа ВПГ или циферблатные. Предпочтительнее применять циферблатные весы, автоматически показывающие вес груза Основные сведения об изготовляемых Кокчетавским механическим заводом циферблатных весах приведены в табл. 72.

На станциях обработки воды сжиженный хлор доставляют и хранят в стандартных баллонах (рис. 159) или бочках (рис. 160), а также в специальных цистернах (рис. 161) Рабочее давление в них находится в пределах 6—10 *атм* в зависимости от температуры.

Таблица 72. *Техническая характеристика циферблатных весов*

Показатель \ Тип	РП-500 ГПЗ (М)	РП-1ПЗ (М)	РП-3ГЗ (М)	РП-5ФЦ-13	РП-1Ц-13	РП-2Ц-13
Пределы взвешивания в *кг*	25—500	50—1000	150—3000	25—500	50—1000	100—2000
Размер платформы в *мм*	630×800	800×1000	1500×1500	800×1000	800×1000	1500×2000
Вес в *кг*	129	188	471	255	—	630

Таблица 73 *Техническая характеристика* *их баллонов*

Емкость в *л*	Габариты в *мм*		Вес сжиженного хлора в *кг*	Вес пустого баллона в *кг*
	Наружный диаметр	Длина корпуса		
20	219	770	25	34,5
25	219	925	31	40,5
27	219	985	3,5	43
30	219	1080	37,5	47
33	219	1170	41	51
36	219	1265	45	55
40	219	1390	50	60
45	219	1545	56	66,5
50	219	1700	62	73
55	219	1855	69	79,5

Для хранения и транспортирования газов промышленность выпускает баллоны емкостью от 2[illegible] до 55 *л* по ГОСТ 949—57* и от 80 до [illegible] *л* по ГОСТ 9731—61. В табл. 73 приведены основные данные для наиболее употребляемой баллонной тары жидкого хлора, выпускаемой Первоуральским новотрубным заводом. Такие баллоны заполняются из расчета 1,25 *кг* хлора на 1 *л* емкости. При наличии внутренней трубки для подачи хлора в газообразном состоянии баллоны устанавливают в перевернутом положении. Баллонную тару применяют на станциях с расходом хлора не более 1 *т/сутки*. При большем потреблении хлора используют бочки или цистерны (табл. 74).

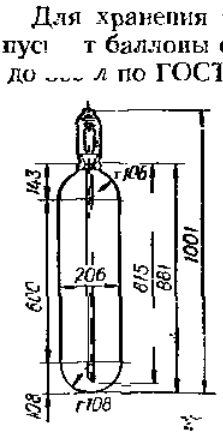


Рис. 159. Баллон для жидкого хлора

Бочки или цистерны устанавливают на открытом воздухе и окрашивают в белый или серебристый цвет. Для охлаждения их в жаркую погоду предусматривают душирующие установки с интенсивностью 0,01 *л/м²*.

На станции большой производительности хлор поставляют в железнодорожных цистернах емкостью до 50 *т*, в связи с этим емкость цистерн для слива должна быть кратна этой величине.

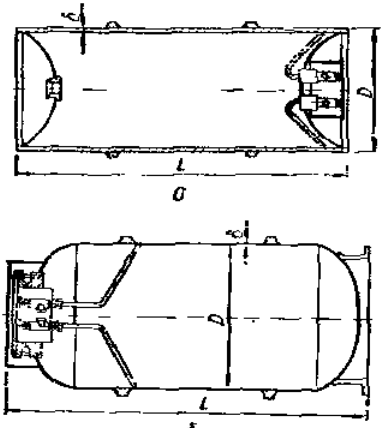


Рис. 160. Бочки для жидкого хлора конструкций

а — ЦРММ Донбассводтреста, *б* — завода «Химмаш», *в* — Батайского завода

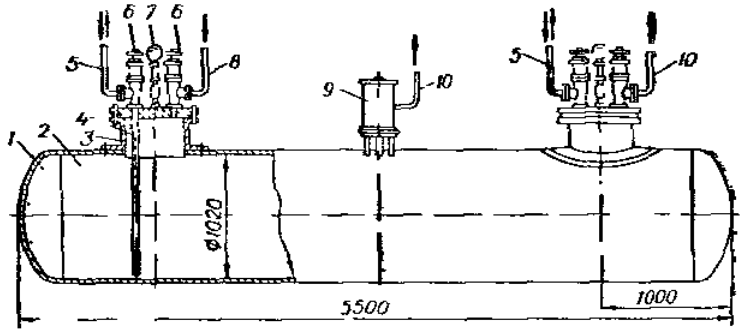


Рис 161 Цистерна для жидкого хлора

1 — сферическое днище, *2* — корпус, *3* — люк; *4* — сифонная трубка, *5* — трубопровод жидкого хлора, *6* — вентиль, *7* — манометр, *8* — воздушник, *9* — колпак предохранительного клапана, *10* — трубопроводы газообразного хлора

Таблица 74 *Технические характеристики бочек емкостью 500—1250 кг жидкого хлора*

Емкость в *л*	Габариты в *мм*		Вес сжиженного хлора в *кг*	Вес пустых бочек в *кг*	Изготовитель
	Наружный диаметр	Длина корпуса			
512	640	1800	500	390	Центральные ремонтно-механические мастерские Донбассводтреста
400	820	1070	500	338	Рузаевский завод «Химмаш»
800	816	1870	1000	660	
500	746	1600	625	543	Батайский завод монтажных заготовок
1000	970	1925	1250	970	

§ 92. Оборудование фильтров

Для обеспечения нормальной работы фильтров необходимо постоянное наблюде[illegible]за за режимом их раб[illegible]т по спец[illegible]ьным приборам — указате[illegible]л потери напора, ско[illegible]ги фильтр[illegible]ии, мутности воды и интенсивности промывки

Н[illegible]х малой производительности потерю напора можно опре[illegible]при помощи стеклянных пьезометрических трубок, одна из которых соединена с поддренажным пространством или с трубопроводом чистой воды, другая с водой над песком фильтра. Трубки располагаются на одном щитке со шкалой, по которой определяется положение уровней в обеих трубках и вычисляется потеря напора

Более совер[illegible]енным указателем потери напора в фильтре явля ется дифферен[illegible]иальный манометр, схема подключения которого приведена на рис. 162, *а* Такой дифференциальный манометр состоит из пер[illegible]чного да[illegible]ка ДП поп[illegible]т[illegible]или ДМ мембранного [illegible]а с индук[illegible]онной или ди[illegible]ал[illegible]-трансформаторной передачей показаний на вторичный прибор, который в зависимости от требуемых у[illegible]вий его работы может быть только показывающий или самопиш[illegible]ий.

Указатели скорости фильтрации устанавливаются на трубопроводах, [illegible]щих отфильтрованную воду для ко[illegible]оля скорости филь[illegible]ии. На рис. 162, *б* приведена схема под[illegible]ючения дифферен[illegible]ого манометра, используемого для определения скорости фильтрации, состоящего, как и указатель потерь напора, из двух частей: первичного датчика и вторичного показывающего прибора. Дифференциальный манометр присоединяется к вставке Вентури,

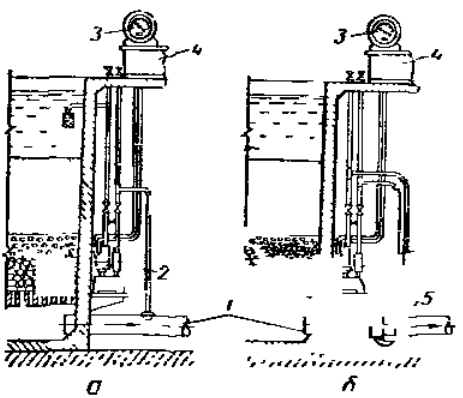


Рис. 162 [illegible]хема использования дифференциального манометра
а — для оп[illegible]ления потери напора, *б* — для ко[illegible]оля скорости фильтрации, *1* — т[illegible]провод фильтрованной воды, *2* — п[illegible]чный датчик, *3* — вто ричный пр[illegible], *4* — стол управления, *5* — вставка Вентури

установленной на трубопроводе, отводящем фильтрованную воду из каждого фильтра.

За последнее время широкое распространение получили дифманометры-расходомеры с мембранным первичным датчиком типа ДМ и диф[illegible]ференциально тр[illegible]ф[illegible]рматорной схемой передачи показаний на ра[illegible]ции. В ка[illegible]ях пр[illegible]оров исп[illegible]от

электронные приборы ЭПИД. Преимущества их следующие: отсутствие ртути в датчиках, высокая чувствительность (класс 0,5) и наличие трехпозиционного регулятора с мощной контактной системой. Последнее обстоятельство позволяет использовать приборы ЭПИД в качестве регуляторов скорости фильтрации.

Схема наиболее простого поплавкового устройства для автоматического регулирования скорости фильтрации приведена на рис. 163. Такой тип регулятора достаточно эффективен в работе и

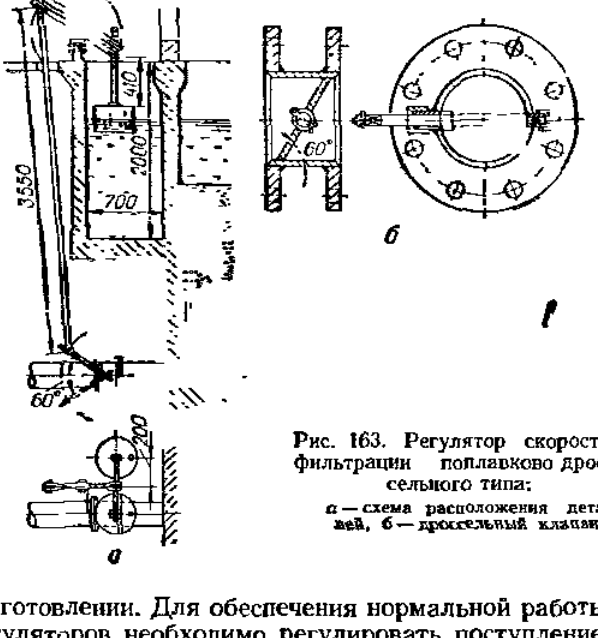


Рис. 163. Регулятор скорости фильтрации поплавково дроссельного типа:
а — схема расположения дета лей, б — дроссельный клапан

прост в изготовлении. Для обеспечения нормальной работы поплавковых регуляторов необходимо регулировать поступление обрабаты[illegible]й воды на каждый фильтр, что о[illegible]спечивается устройством во[illegible]ов На этом же рисунке прив[illegible]н дроссельный клапан поплавкового регулятора скорости фильтрации, устанавливаемый на трубо[illegible]водах, отводящих фильтрованную воду от каждого фильтра [illegible]от клапан связан тягой с поплавком, находящимся на поверхности воды [illegible]ильтре.

Регулятор скорости фильтрации непрямого действия с расходомером и пов[illegible]ротным дисковым за[illegible]ором с гидро- или электроприводом прив[illegible]н на рис. 164. Чув[illegible]ительным элементом является сопло или труба Вентури, преобразователем перепада давлений — ди[illegible]метр. [illegible]ектрический импульс от последнего пост[illegible]ает на вто[illegible]ий при[illegible], с трехпозиционным электрическим регу[illegible]ором, который через циклический прерыватель (во избежание перерегулирования) открывает или закрывает поворотный дисковый затвор. Вторичный прибор расходомера обычно снабжается дополнитель-

вой шкалой, градуированной в единицах линейной скорости фильтрации — *м/ч*.

Контроль интенсивности промывки фильтров обычно осуществляется при помощи расходомера, установленного на трубопроводе промывной воды. Шкала его вторичного прибора градуируется в *л/м²·сек*.

Управление фильтрами осуществляется задвижками с электро- или гидроприводом. Для фильтровальных станций применяют низ-

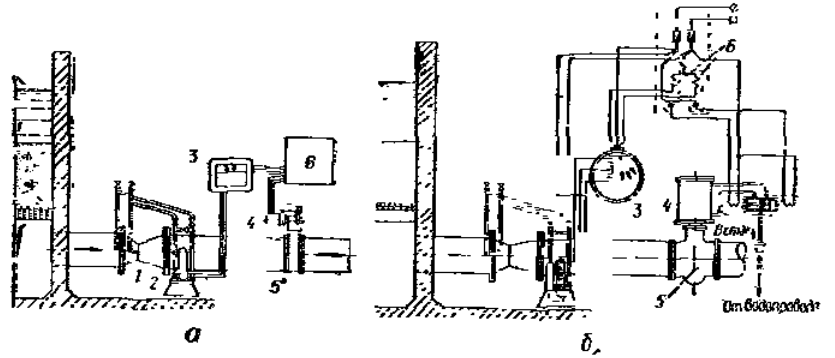


Рис. 164. Схема регулятора скорости фильтрования с расходомером
а — с электроприводом, *б* — с гидроприводом; *1* — вставка Вентури; *2* — дифманометр, *3* — вторичный прибор, *4* — электро- или гидропривод, *5* — затвор, *6* — шкаф с релейно-пусковой аппаратурой.

конапорные с укороченным корпусом и облегченным весом задвижки. По конструкции запорной части они могут быть двух типов — параллельные клиновые. В таких [illegible] кольца корпуса в шибер [illegible] жены пер [illegible] кул [illegible] и задвижек и проход перекрывается двумя шиберами [illegible] ю вторых уплотняющие кольца кор [illegible] онные и между ними при перекрытии помещается один кли [illegible] ый диск — клинкет, более надежными в работе являются клиновые задвижки.

Гидравлические приводы к задвижкам обладают рядом преимуществ по сравнению с электроприводами: они открывают и закрывают задвижки быстрее (для гидропривода 20—60 *сек*, для электропривода 0,7—6 *мин*), пригодны для сырых помещений. В схемах автоматического регулирования более удобны задвижки электрифицированные. При [illegible] электрифицированной задвижки является электродвигатель [illegible] редуктором и путевыми выключателями, [illegible] онно управляемый [illegible] ным приводом. Схема работы с гидравлическим приводом приведена на рис. 165. Гидропривод представляет собой чугунный цилиндр, присоединенный к корпусу за[illegible]. Внутри [illegible]ся в нем поршень прикреплен к штоку, проходящему через [illegible] в корпусе и крышку цилиндра с сальниковым уплотнением. Вода к цилиндру подводится от напорного трубопровода, на котором устанавливают задвижки. Распределительный четырехходовой кран, служащий для управления

гидрозадвижкой, имеет четыре трубки. Две из них подводят воду в п[illegible] цилиндра (снизу и с[illegible] поршня), третья [illegible]ает ее к рас[illegible]ределительному крану и [illegible]тая служит для о[illegible]да отработанной воды в сток При дистанционном управлении задвижками с гидравлическим приводом и[illegible]эльзуют электрозолотниковые распределители Конструкция наиболее распространенного гидрора[illegible]еделителя клапанного типа приве[illegible]а на рис. 166. В чугунном корпусе [illegible]жены [illegible]ыре клапана, попарно с рыча[illegible]ым механизмом с самостоятельными электромагнитами. В нейтральном положе[illegible] все клапаны за[illegible]ты. Для пере[illegible]щения задвижек в [illegible]анном направлении одновременно отт[illegible]ются два парных клапана, соединенных с соответствующими клапанами для протока воды

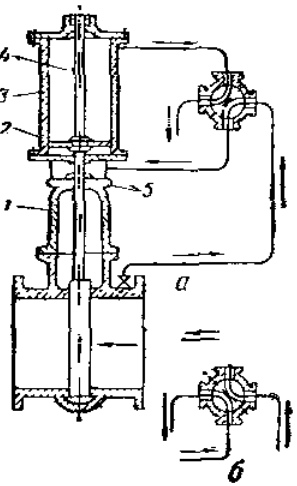


Рис 165 Схема работы гидравлической задвижки: *а* — задвижка открыта, *б* — задвижка закрыта *1* — задвижка, *2* — поршень, *3* — чугунный цилиндр, *4* — шпиндель; *5* — уплотнение.

Для задвижек с гидроприводом диаметр цилиндра $d_{прив}$ в *см* рассчитывают по формуле

$$d_{прив} = \sqrt{\frac{1{,}5KP_{раб} - D_y^2}{P_{прив}}}, \qquad (225)$$

где K — коэффициент трения, принимается для бронзы по бронзе 0,2,

$P_{раб}$ — давление в трубопроводах в *кгс/см²*,

D_y — диаметр задвижки в *см*,

$P_{прив}$ — давле[illegible] рабочей жидкости, подаваемой в цилиндр, в *кгс/*[illegible],

[illegible]1,5 — коэффициент запаса.

Конструктивное оф[illegible] и парам[illegible] о[illegible] вых типов [illegible]вижек определяют по [illegible]8—67. Ст[illegible]ите[illegible]ые длины фл[illegible]цевых задвижек устанавливаются по ГОСТ 3706—67; присоединительные меры фланцев по ГОСТ 1235—67, ГОСТ 12821—67 и ГОСТ 12[illegible]—67.

Задвижки D_y=50÷150 *мм* имеют пневмогидропривод, управляющая среда — минеральное масло или воздух; задвижки D_y= =200÷600 *мм* снабжены гидроприводом, управляющая сре[illegible] — масло или вода ($P_{прив}$ до 10 *кгс/см²*), в задви[illegible]ках с D_y = [illegible]÷ 800 *мм* управляющая [illegible]еда—вода ($P_{прив}$ =6 *кгс/см²*); задвижка D_y=600 *мм* — клиновая Гидравлические задвижки D_y=500÷ ÷800 *мм* снабжены обводными устройствами.

Промышленность выпускает задвижки с электроприводом параллельные, с выдвижным шпинделем, для условных проходов D_y=100÷400 *мм*, и неподвижным шпинделем, для D_y=500÷1600 *мм*, а также клиновые, с выдвижным шпинделем, для услов-

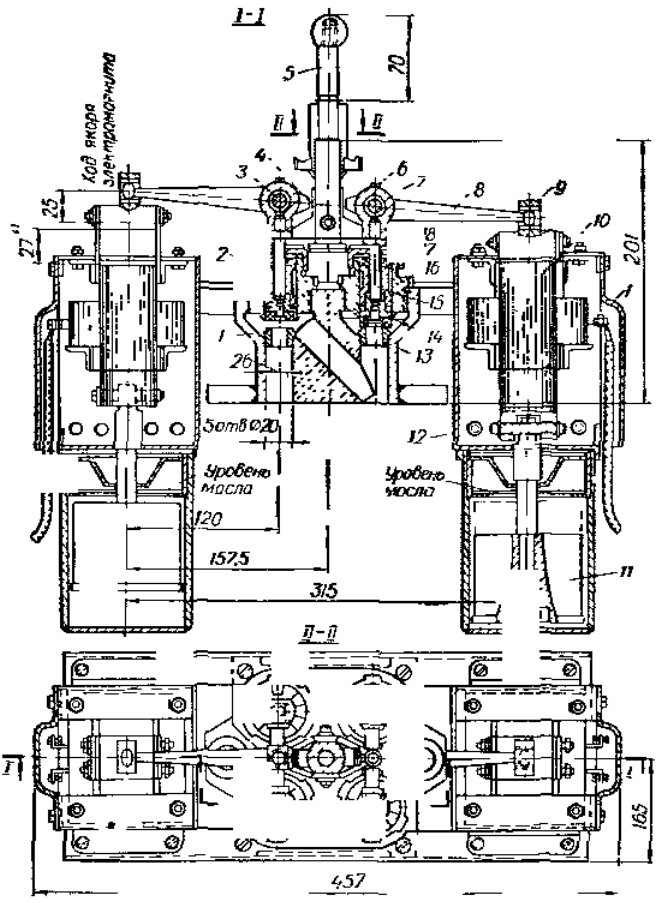


Рис. 166. Электроклапанный распределитель к задвижке с гидроприводом

1 — корпус клапана, *2* — бронзовая букса, *3* — валик; *4* — шарнир, *5* — рукоятка ручного уп[равления], *6* — стопорный винт, *7* — втулка *8* — рычаг, *9* — ушко, *10* — [электромаг]нит, *11* — груз, *12* — кожух электромагнита, *13* — седло кла[пана], *14* — прокладка, *15* — шток; *16* — гайка, *17* — корончатая гайка, *18* — манжет

ных проходов D_y =200÷800 *мм*, и неподвижным шпинделем, для D_y =500÷1600 *мм*. Задвижки с электр[оприво]ом, парал[лельные], с неподвижным шпинделем, для D_y =1[000] *мм* сна[бжены] обводом, на запорном устройстве которого по особому заказу устанавливается электродвигатель [48].

В схемах регулирования скорости фильтрации рекомендуется *применять дисковые поворотные затворы с электроприводом* [10]. Их изготовляет Мышетский арматурный завод для условных проходов $D_у = 400 \div 1600$ *мм* ($P_у = 10$ *кгс/см²*) и $D_у = 1200 \div 2000$ *мм* ($P_у = 2{,}5$ *кгс/см²*). Завод «Водомашоборудование» выпускает аналогичные затворы с гидроприводом для условных проходов $D_у = 300 \div 1000$ *мм* ($P_{прив} = 4$ *кг/см²*).

Для местной централизации управления и наблюдения за работой фильтров в настоящее время применяют специальные щиты (пульты) управления. Их обычно устанавливают на служебном мостике или на верхнем этаже фильтровального зала. На этих пультах монтируются приборы, предназначенные для определения величины потери напора на фильтре, скорости фильтрования, мутности воды, а также устройства для дистанционного открывания и закрывания задвижек.

Управление последовательным открыванием и закрыванием задвижек фильтров при переводе их на режим фильтрования или промывки может быть автоматизировано путем применения для электроприводов командноэлектрического прибора (КЭП-ПУ) или многоцепного реле времени (РВТ-1...), выпускаемых соответственно заводом «Калугаприбор» и Киевским заводом реле и автоматики; для гидроприводов применяют программный автомат восстановления фильтров (АФТ-2), изготовляемый Краснотурьинскими энергоремонтными мастерскими Уралэнерго [10]

§ 93. Микрофильтры, напорные фильтры и оборудование ионообменных установок

Как уже отмечалось в гл. IX, для предварительного выделения из воды фито- и зоопланктона применяют микрофильтры (МФ), а для задержания крупных взвешенных и плавающих веществ — барабанные сетки (БС). Проектно-конструкторским бюро АКХ МКХ РСФСР разработаны типовые агрегаты для предварительной очистки воды (рис. 167). В табл. 75 приведены основные типоразмеры микрофильтров и барабанных сеток, изготовляемых Воронежским заводом «Водомашоборудование» МКХ РСФСР [48].

Барабан фильтра представляет собой 18-гранную призму со стенками, закрытыми фильтрующими сетчатыми элементами. В микрофильтрах они состоят из двух поддерживающих сеток с ячейками размером 2×2 *мм*, между которыми расположена фильтрующая сетка с ячейками размером 40 *мк*, в барабанных сетках — 60 *мк*.

Фильтрование воды производится при остановленном барабане. При засорении фильтрующих сеток и достижении максимального перепада уровней автоматически включаются промывное устройство и электродвигатель, вращающий барабан.

Напорные фильтры (рис. 168), применяемые как для безреагентной очистки воды, так и при реагентном осветлении и обесцвечивании воды, изготовляются Бийским (БКЗ) и Таганрогским котель-

Таблица 75. *Технические характеристики микрофильтров и барабанных сеток*

Марка	Производительность в $м^3$ *сутки*	Размеры барабана в *мм*		Размеры камеры в *мм*			Число фильтрующих элементов	Мощность электродвигателя в *квт*	Вес в *кг*
		Диаметр	Длина	Длина	Ширина	Расстояние от оси до дна			
МФ 1,5×1	4	1550	1230	2095	2660	10 0	18	2,5	1240
МФ 1,5×2	8		2305	31 0			36		1700
МФ 1,5×3	12		33 0	4196			54		2050
МФ 3×1,5	15	3050	1714	2606	4060	1700	18	4,0	2160
МФ 3×3	30		3370	4122			36		2570
МФ 3×4,5	45		4744	5635			54		3 37
БС 1,5×1	10	1550	1230	2095	2660	1000	18	1,7	1240
БС 1,5×2	20		230	[illegible]			36		1700
БС 1,5×3	30		3370				54		2050
БС 3×1,5	35	3050	1714	[illegible]	4060	1700	18	2,8	2100
БС 3×3	70		3370	[illegible]			36		2570
БС 3×4,5	105		4744	5635			54		3970

ными заводами (ТКЗ) Основные их типоразмеры приведены в табл. 76 Высота слоя фильтрующей загрузки во всех фильтрах принимается равной 1000 *мм*. Рабочее давление — 6 *кгс/см²*.

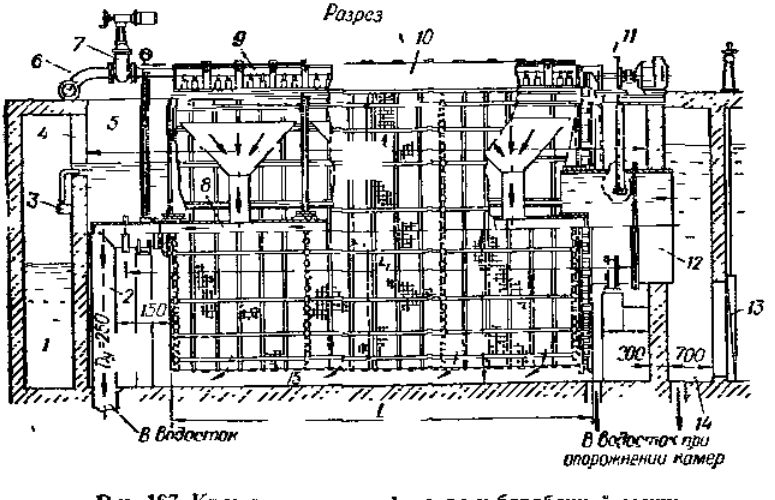


Рис. 167 Конструкция микрофильтра и барабанной сетки:

1 — сборный канал, *2* — [illegible] подачи и лаза на откр[illegible]ные окна, *5* — камера, *6* [illegible] приводом на тр[illegible] проводе [illegible] сбора промывн[illegible]ды *9* — *11* — электропривод, *12* — подвод воды, *15* — бара[illegible]ды, *3* — датчик для вода *4* — подъем[illegible] задвижка с электро[illegible]с [illegible]жами для [illegible]день [illegible]ургетекла; [illegible]ибер *14* — канал исходной элементами

Таблица 76. *Технические характеристики напорных фильтров*

Диаметр фильтра D в *мм*	Основные размеры в *мм*		Вес в *т*		Завод-изготовитель
	Высота строительная	Диаметр патрубков	Фильтра без арматуры	нагрузочный	
1000	2912	80	1,0	4	БКЗ
1500	3298	125	1,6	9	БКЗ
2000	3620	150	2,1	15	ТКЗ
2600	4000	200	3,8	28	ТКЗ
3000	4370	250	4,8	37	ТКЗ
3400	4530	250	6,3	50	ТКЗ

Площадь фильтрования F в $м^2$:

D —	0,7	1,0	1,5	2,0	2,6	3,0	3,4
F —	0,4	0,8	1,8	3,1	5,3	7,1	9,1

ТКЗ выпускает также фильтры вертикальные двух- и трехкамерные с F — 18,2 и 27,3 $м^2$; их габариты: D — 3,4 *м*, H — 5,5 и 6,9 *м*, нагрузочный вес — 72 и 102 *т*. Этим же заводом изготовляются горизонтальные фильтры с F — 15 и 30 $м^2$; их габариты D — 3 *м*, L — 5,5 и 10 *м*; нагрузочный вес — 63 и 118 *т*.

Упомянутые выше заводы и Саратовский завод тяжелого машиностроения (СЗТМ) выпускают также Н- и Na-катионитовые фильтры, применяемые для умягчения воды (рис. 169). Основные их типоразмеры приведены в табл. 77 [10, 48].

Для приготовления регенерационных растворов поваренной соли отечественная промышленность выпускает напорные солерастворители для рабочих давлений 6 *кг/см*^{2}, их технические характеристики следующие:

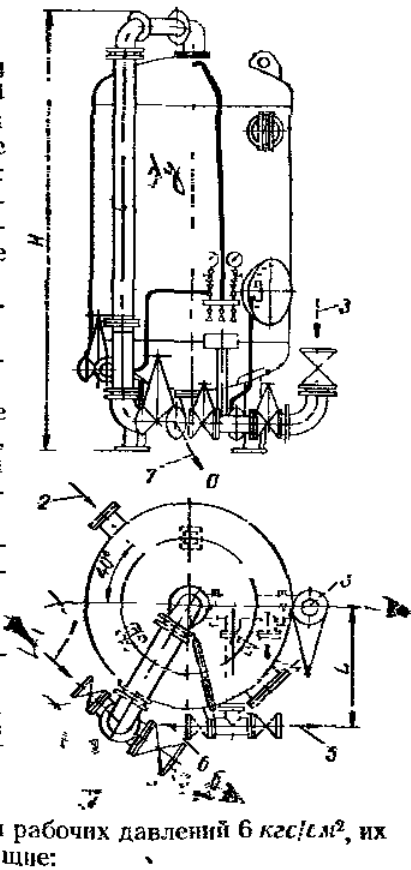


Рис. 168. Вертикальный напорный фильтр
а — фасад, *б* — план *1* — подвод осветляемой воды, *2* — для гидроперегрузки, *3* — подвод промывной воды, *4* — водача сжатого воздуха, *5* — к пе[illegible] ильтрата, *6* — отвод фильтрата *7* — выпуск в канализацию

Площадь фильтрования в $м^2$	0,16	0,3;	0,8
Диаметр в *мм*	450.	600,	1000
Полезная емкость в $м^3$	100,	200;	500

Таблица 77. *Технические характеристики катионитовых фильтров*

Диаметр фильтра в *мм*	Высота слоя загрузки в *мм*	Основные размеры в *мм*		Вес в *т*		Изготовитель
		Строительная высота	Диаметр под водящего патрубка	фильтра без арматуры	загрузочный	
Na-катионитовые фильтры I ступени						
700	2000	3200	40	0,5	1,7	БКЗ
700	1800	3000	40	0,6	2,1	СЗТМ
1000	2000	3600	50	1,3	5,3	СЗТМ
1500	2000	3950	80	1,7	10	БКЗ
2000	2500	4870	125	2,6	15	ТКЗ
2600	2500	5195	150	4,3	27	ТКЗ
3000	2500	5460	150	5,3	41	ТКЗ
3400	2500	5724	200	7,5	47	ТКЗ
Na катионитовые фильтры II ступени						
1000	1500	2917	80	0,9	3,5	БКЗ
1500	1500	3303	125	1,6	7,5	БКЗ
2000	1500	3620	150	2,1	13,1	ТКЗ
2600	1500	4000	200	3,8	20	ТКЗ
3000	1500	4370	250	4,8	30	ТКЗ
H катионитовые фильтры I ступени						
1000	2000	3597	50	1,0	5	БКЗ
1500	2000	3924	80	1,7	10	БКЗ
2000	2500	4870	125	2,6	15	ТКЗ
2600	2500	5195	150	4,3	27	ТКЗ
3000	2500	5460	150	5,3	36	ТКЗ
3400	2500	5724	200	7,5	47	ТКЗ
H-катионитовые фильтры II ступени						
1000	1500	2922	80	0,9	3,5	БКЗ
1500	1500	3308	125	1,6	7,5	БКЗ
2000	1500	3620	150	2,1	13,1	ТКЗ
2600	1500	4000	200	3,8	20	ТКЗ
3000	1500	4370	250	4,9	30	ТКЗ
Фильтры смешанного действия						
2000	1200	5030	200	3,3	15,5	ТКЗ
3400	1600	5840	250	8,2	45,5	ТКЗ

Слив кислоты из желе дорожных цистерн может производиться в цистерны промышле ого изготовления объемом 15 $м^3$ (емкость 28 *т* серной кислоты) Основные данные таких цистерн следующие диаметр 2000 *мм*, длина 5764 *мм*, вес металла 4 *т*, н узочный вес 32 *т*, рабочее давление 6 $кгс/см^2$. Для приготовлен... растворов кислоты используют баки вытеснители и баки мерники, их характеристики приведены в табл 78.

Таблица 78. *Технические характеристики баков-вытеснителей и баков-мерников*

Емкость в *л*	Основные размеры в *мм*		Вес в *кг*	
	Наружный диаметр	Строительная высота	металла	нагрузочный
Баки вытеснители				
300	670	1685	290	800
500	850	1764	470	1400
1500	1030	2490	690	3400
3500	1525	2842	1170	7600
Баки-мерники				
90	450	845	98	—
150	500	1060	132	—
250	670	1135	190	—
500	810	1345	313	

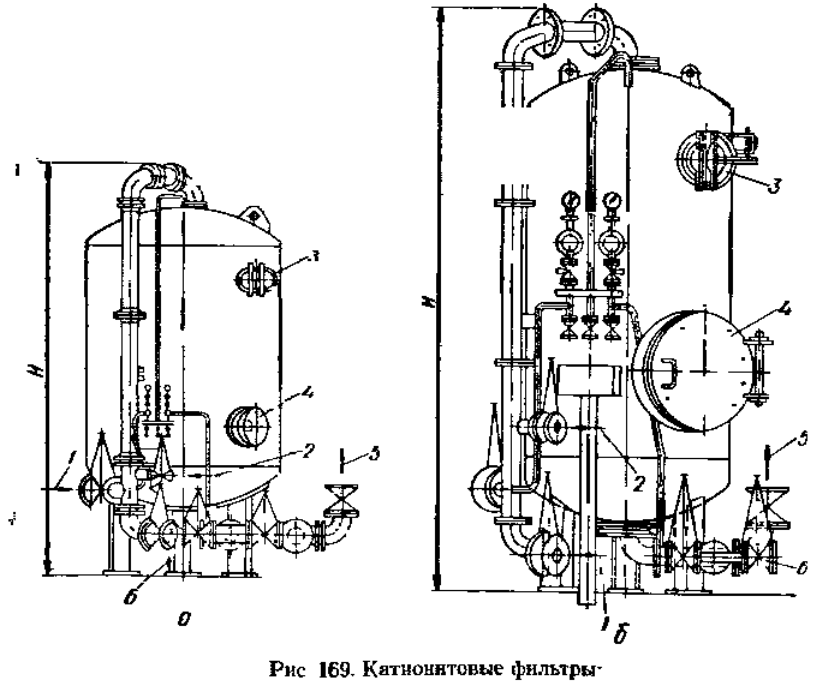


Рис 169. Катионитовые фильтры

а — Na катионитовый фильтр первой ступени (ТКЗ, диаметр от 2000 до 3400 *мм*); *б* — H катионитовый фильтр второй ступени (БКЗ, диаметр 1000 и 1500 *мм*) *1* — подача исходной воды, *2* — подача регенерационного раствора *3* — люк, *4* — лаз, *5* — выход умягченной воды, *6* — спуск отмывочной воды.

Для растворов кислот и щелочей промышленностью изготовляются баки объемом от 0,5 до 3,0 $м^3$, их типоразмеры приведены в табл. 79.

Таблица 79 *Технические характеристики баков для растворов кислых и щелочных реагентов*

Объем в $м^3$	Основные размеры в мм		Вес	
	Наружный диаметр	Строительная высота	металла в кг	нагрузочный в т
Баки для растворов кислых реагентов				
0,5	1000	740	154	0,8
1,5	1400	1090	91	2
2,0	1675	1090	574	3
4,0	2008	1090	977	4
Баки для растворов щелочных реагентов				
0,5	1008	810	110	0,7
1,1	1510	815	200	1,5
2,2	2014	815	310	2,6

ГЛАВА XIX

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

§ 94. Контрольно-измерительные приборы

Современная химическая технология, в том числе и химическая технология обработки воды, постепенно утрачивает свой эмпирический характер, превращаясь в прикладную физическую химию. Методы физической химии широко используют в технологических анализах и контрольно-измерительной аппаратуре. Применение их позволило автоматизировать многие химико-технологические процессы. Это в значительной степени относится к процессам обработки воды, где вопросы качества очистки играют доминирующую роль. Следует подчеркнуть специфику таких процессов. Как правило, концентрации отдельных ингредиентов в природных водах невелики и выражаются в миллиграммах и даже в долях миллиграмма на литр. Количество добавляемых при обработке воды реагентов выражается величинами того же порядка. Поэтому контрольно-измерительная и регулирующая аппаратура должна определять эти малые количества, а также обеспечивать возможность варьирования их при дозировании и смешении реагентов с водой.

До последнего времени в схемах автоматизации станций обработки воды использовался количественный принцип, в соответствии с которым автоматическое регулирование работы отдельных сооружений осуществлялось соответствующими программными дозаторами, расходомерами, регистраторами перепада давления, реле времени и т. д. Сектор химии и технологии воды ИКХХВ АН УССР выдвинул качественно-количественный принцип автоматизации [183]. По этому принципу количественный показатель сохраняется лишь для полезной отдачи воды водопроводными сооружениями или в целях устранения транспортных запаздываний в схемах

регулирования. Контроль и регулирование отдельных сооружений осуществляется при помощи соответствующих приборов, определяющих фа[illegible] агентов в вс[illegible] качес[illegible] [illegible]ют-ки, нормал[illegible] [illegible]ссов осветл[illegible]ия и [illegible] [illegible]ния, степень промывки фильтрующих слоев, полноту умягчения и обессоливания и т. д. Для практич[illegible]ого осуществления этого принципа станции обработки воды осна[illegible]от соответствующими контрольно-измерительными приборами. Разработке такой аппаратуры и условий применения ее на практике должно предшествовать изучение физико-химической сущности протекающих процессов обработки воды

В современной технологии необходимо предусматривать оперативный контроль за [illegible]сами на всех стадиях обработки воды и оптимальное регули[illegible]е вводимых реагентов при помощи совершенной аппаратуры. Реализация указанных положений даст возможность поднять на более высокий уровень технику водоочистки и в тоже время позвол[illegible]т более осмысленно использовать разнообразные режимы ра[illegible]ы очистных сооружений.

Контроль и управление работой очистных сооружений осуществляют на осно[illegible]нии показаний различных типов конт[illegible]-измерительных пр[illegible]ров (КИП), которыми оснащается т[illegible]гический щит в помещении дежурного инженера Эти приборы по принципу действия могут быть местными или дистан[illegible]ными. По контролируемым параметрам они подразделяются [illegible]. боры для измерения физических параметров среды (приборы количественного учета) и пр[illegible]ы для опред[illegible]ения качественных показателей очистки воды и р[illegible]улирования т[illegible]нологических процессов. К первым относятся приборы для контроля температуры, давления, расхода жидкостей и газов, измерения уровней жидкостей в резервуа[illegible]ах и сооружениях; ко вторым — аппаратура для определения [illegible]ветности, мутности, щелочности, pH воды, содержания в ней отдельных ингредиентов, отмеченных в нормах качества воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также [illegible] для контроля концентрации реагентов, дозы их в обра[illegible]ой воде, приборы для наблюдения за осветлением воды в очистных сооружениях, отложением в них осадков, про[illegible]й [illegible]ьтров и др. Приборы для измерения физических пара[illegible], з с[illegible]ы изготовляются отечественной приборостроительной промышленностью в больших масштабах, главным образом для целей теплотехнического контроля, их применяют также в химической, нефтяной и других отраслях промышленности [48, 184] Такие приборы на станциях обработки воды используют как по прямому назначению, так и в устройствах специального назначения (измерение потери напора, скорости фильтрования, интенсивности промывки и т. д.), требующих дополнительной градуировки. Приборы для определения качественных показателей очистки воды являются приборами целевого назначения и изготовляются лишь небольшими сериями, а иногда и в единичных экземплярах [185—209] Ниже приводятся краткие [illegible]ракте[illegible]ики наиболее употребительных в химической

технологии обработки природных вод приборов для контроля качественных параметров очистки воды.

Из всех приборов для контроля и регулирования процессов очистки воды только pH-метры со стеклянными электродами имеют общепромышленное значение и изготовляются приборостроительными заводами в больших количествах (Гомельский завод измерительных приборов). Для станций обработки воды наиболее пригодны pH-метры с проточными датчиками (типа ДМ-5М) и погружными датчиками (типа ДПг-4М). Их используют для измерения pH воды в процессах подщелачивания, стабилизации, умягчения и др. Принцип действия их основан на измерении э.д.с. гальванической пары, образованной индикаторным стеклянным электродом, изменяющим потенциал с изменением pH среды, и стандартным каломельным электродом с неизменным потенциалом. Вторичным прибором является электронный преобразователь с высокоомным входом; градуируется он в единицах pH.

В лабораторных условиях используются нерегистрирующие pH-метры типа ЛПУ-01. Для выполнения колориметрических анализов применяется также общеаналитический прибор — фотоэлектроколориметр типа ФЭК-56 и ФЭКН-57 (измерение цветности, мутности, содержания железа, нитратов, нитритов и др.) [210—212]. Определение щелочных металлов производится при помощи пламенного фотометра типа ФПЛ-1.

Остальные приборы для контроля качественных параметров очистки специфичны и характеристика их приводится с упоминанием организации, разрабатывавшей конструкции приборов.

Приборы системы АКХ РСФСР [193, 196].

Автоматический анализатор мутности типа АМС-У предназначен для непрерывного или периодического контроля и дистанционной регистрации мутности очищенной питьевой воды. Принцип действия основан на частом периодическом сравнении при помощи модулятора двух световых потоков, проходящих через кювету с контролируемой водой и измерительный оптический клин. Исполнительный механизм, управляемый измерительной системой, регулирует положение оптического клина, соответствующее сохранению равенства световых потоков. Измерение мутности воды производится в длинноволновом участке видимого спектра 700—800 *нм*, где на показания прибора заметно не влияет цветность воды. Стрелка, установленная на одном валу с оптическим клином, указывает мутность в *мг/л*, дистанционная передача показаний производится при помощи реостатного задатчика, входящего в комплект вторичного самопишущего прибора (мост типа ЭМД). Диапазон измерений равен 0—4,5 *мг/л*.

Автоматический анализатор мутности и цветности типа АМЦ предназначен для непрерывного независимого измерения и дистанционной регистрации мутности и цветности питьевой воды. Принцип действия, как и в предыдущем приборе, основан на использовании компенсационной измерительной схемы. Управление положением оптических клиньев мутности и цветности воды произво-

дится двумя самостоятельными электромеханизмами отработки, которые периодически связываются через общий электронный усилитель с соответствующими фотоэлектронными блоками следящих систем. Измерение мутности осуществляется, как и в АМС-У, в длинноволновом участке спектра, определение цветности в коротковолновом диапазоне — 400—450 *нм*, где оптическая плотность контролируемой воды максимальна. Схема обеспечивает автоматическую компенсацию влияния мутности воды при контроле ее цветности. Дистанционная передача показаний аналогична предыдущему прибору. Диапазон измерений: по мутности 0—3,5 *мг/л*; по цветности 0—30 *град*.

Автоматический анализатор остаточного хлора типа АОХ предназначен для измерения и дистанционной регистрации остаточного хлора в питьевой воде. Принцип действия основан на измерении интенсивности окраски исследуемой воды после добавления в нее ортотоледина. Этот индикатор подается специальным блоком, фотоэлектрическая часть прибора аналогична АМС-У. Диапазон измерений — 0—1 *мг/л*.

Анализаторы системы АКХ собираются из унифицированных блоков, габариты их 910×336×450 *мм*. Приборы АМС-У и АОХ выпущены небольшой серией заводом «Моснефтекип» и эксплуатируются на ряде водопроводов.

Приборы системы Ленгорводопровода.

Концентратомер для определения дозы коагулянта в воде описан в параграфе, где приведены дозаторы реагентов (см. стр. 368).

Прибор для измерения количества остаточного хлора в воде построен по принципу фотоэлектроколориметра. Определение остаточного хлора основано на измерении интенсивности окраски воды после добавления к ней иодокрахмального индикатора. Измерение соотношения усиленных фототоков, величина которых зависит от оптической плотности чистой воды и воды с добавленным индикатором, определяется при помощи электронного потенциометра типа ЭПД. Габариты прибора 630×550×250 *мм*. Диапазон измерений— 0—5 *мг/л*.

Концентратомер для коагулянта изготовляет завод «Ленводоприбор».

Приборы системы ИКХХВ АН УССР (ранее ИОНХ АН УССР) [194, 195].

Прибор для контроля осветления воды в отстойниках (индекс АОВ-1) работает на принципе турбидиметрии — поглощения света суспензиями, образующимися при очистке воды. Прибор состоит из первичного датчика и вторичного прибора. В первичном датчике, представляющем узкую латунную коробку, не имеющую дна и крышки, на двух противоположных стенках укреплены герметические камеры с окошками, в которых помещены вентильного типа фотоэлемент (ФЭСС У-10) и освещающая его электрическая лампочка; габариты датчика 125×150×440 *мм*. Он снабжен кабелем, по которому осуществляется передача э.д.с. от фотоэлемента к вторичному прибору, а также подвод тока к лампочке. Этот же кабель

служит тросом, на котором датчик опускается в отстойник. Во вторичном приборе размещена батарея щелочных аккумуляторов ...НКН-10, переключатели, регулировочные реостаты и магнитоэлектрический вольтмикроамперметр типа М-592, габариты 160×225×225 *мм*.

Дозатор растворов коагулянта (индекс АОВ 2) описан на стр. 369.

Концентратомер для растворов коагулянта (индекс АОВ-3) работает на принципе измерения электропроводности раствора по ме... Для выбора используется по... электроизмерительный (МРЩПр или ЭВМ). Первичный датчик представляет собой поплавок, на котором укреплены электроды и температурный компенсатор. Он размещается непосредственно в баке, где происходит растворение коагулянта или находится рабочий раствор. Габариты датчика: диаметр — 200 *мм*, высота — 200 *мм*. Шкала вторичного прибора обеспечивает измерение концентрации раствора сернокислого глинозема от 2 до 15% и хлорного железа от 1 до 7%.

Приборы для определения дозы коагулянта в воде (индекс АОВ 4 и АОВ-9А) работают на принципе измерения изменения электропроводности или мутности воды в процессе ее очистки коагулянтами. Для маломинерализованных вод применяется прибор, контролирующий дозу коагулянта по изменению электропроводности воды при очистке. В водах с большим солесодержанием и небольшой мутностью используется прибор, определяющий дозу коагулянта по увеличению мутности воды в результате образования при гидролизе коагулянта нерастворимых гидроокисей. Позиционные регуляторы на выходных приборах, корректирующих эту дозу коагулянта в воде, подключаются через импульсное реле к электродвигателю, соединенному с регулятором расхода раствора на дозаторе (см. стр. 365). При этом осуществляется автоматический контроль и регулирование дозировки в определенных пределах.

Регистрирующий pH-метр с сурьмяным электродом (индекс АОВ-5) используется в помещениях с повышенной влажностью, где не применимы pH-метры со стеклянным электродом. Поверхность сурьмяного электрода непрерывно протирается волосяными щеточками. Работает он в паре с насыщенным каломельным или хлорсеребряным электродом, эдс. образующейся гальванической пары измеряется автоматическими потенциометрами ЭПП или ЭПД, шкала которых градуирована в единицах pH в пределах от 2 до 5 и от 5 до 8. Позиционный регулятор вторичного прибора может использоваться для автоматического регулирования pH воды. Габариты проточного датчика — 300×210×130 *мм*.

Прибор для определения карбонатной агрессивности воды (индекс АОВ 6) работает на принципе контроля изменения электропроводности воды, содержащей агрессивную углекислоту, при фильтровании ее через слой мраморной крошки. Габариты датчика, оформленного в виде узкого шкафа — 1750×320×200 *мм*. Элек-

тропроводность воды измеряется при помощи электронного моста типа ЭМД.

Фотоэлектронная установка для контроля промывки фильтров (индекс АОВ-7) работает на принципе ослабления светового потока в слое воды, содержащей взвешенные вещества, что фиксируется фотоэлементом, соединенным с показывающим электроизмерительным прибором типа МРЩПр. Применение простой фототурбидиметрической методики для измерения прозрачности воды в данном случае допустимо, так как ф тры всегда промываются очищенной водой с небольшой, практически постоянной цветностью воды. Первичный датчик состоит из проточной кюветы, герметической камеры для фотоэлемента, камеры с электрической лампочкой и электромагнита с волосяными щеточками, которыми [illegible] протирают окошки кюветы. Вторичный прибор — по [illegible] дий, типа МРЩПр или ЭПВ. Позиционные регуляторы их используются для прс [illegible] промывки ф льтров при достижении заданной прозрач [illegible] ы после прот [illegible] ки фильтров

Фототиратронное реле для контроля расширения фильтрующих слоев при их промывке (индекс АОВ-8) работает на принципе полного гашения света во взвешенном слое зернистых материалов в восходящем потоке воды. Первичный датчик, укрепляемый непосредственно в фильтре, изготовляется из трубы и имеет L-образную форму. Горизонтальный его участок длиной 0,5 *м* имеет два ответвления, на одном из которых в герметической камере помещен фотоэлемент, на втором — электрическая лампочка Электронный блок (габариты: 200×200×100) имеет клеммы для подключения к сети переменного тока через циклическое реле с выдержкой 1 *мин*, а также клеммы для сигнальных устройств

В при [illegible] ах для контроля мутности воды (индекс АОВ-9) применена т [illegible] алеметрическая методика (определение взвешенных в воде веществ по интенсивности р [illegible] еянного света) В этом приборе мутность о [illegible] еделяется путем сравнения рассеивания света исследуемой водо [illegible] и стандартной суспензией каолина.

Применение такой методики измерений позволяет исключить влияние цветности воды на показания прибора и осуществить оценку [illegible] ности взвешенных веществ, применяя монохроматическое с [illegible] ние

В приборе для контроля цветности воды (индекс АОВ-10) применена спектр [illegible] отомет [illegible] ческая методика. Он ус [illegible] ен по схеме компенсацион [illegible] о фот [illegible] олориметра, в котором ц [illegible] ность исследуемой фильтрованной воды сравнивается с обычным бихромат-кобальтовым стандартом при [illegible] льких светофильтрах. Если кривая оптической плотности ис [illegible] мой воды аналогична кривой оптической плотности стандарта, прибор непосредственно показывает цветность воды. В тех же случаях, когда эти кривые не аналогичны, в показания прибора вносится эмпирически установленная поправка. По отклонениям кривой оптической плотности исследуемой воды от стандарта устанавливают изменения состава и свойств окрашенных органических веществ в природной воде.

Для внутрицехового контроля цветности и мутности воды имеются упрощенные приборы (индекс АОВ-9У и АОВ-1У), работающие на тех же принципах, но имеющие некомпенсационную схему (отсутствует нулевой прибор, приводящий схему к равновесию). Такие приборы периодически калибруются по соответствующим стандартам цветности и мутности воды.

Контрольно-измерительные приборы, разработанные в Секторе химии и технологии воды ИКХХВ АН УССР (ранее находившемся в системе ИОНХ АН УССР), изготовлены в небольшом количестве экспериментальным цехом механических мастерских производственного управления водопроводно-канализационного хозяйства г. Киева для станций обработки воды на территории Украины.

Приборы разработки СКБ аналитического приборостроения Автоматический турбидиметр для воды ТВ-346 предназначен для непрерывного измерения и регистрации содержания взвешенных веществ в воде (мутности воды). Измерительная схема равновесная мостовая с оптической компенсацией в измерительном канале и постоянной освещенностью, предусмотрена автоматическая подстройка нуля. Рабочий диапазон спектра равен 670—700 *нм*. Второй прибор (типа автоматического электронного моста) может устанавливаться на расстоянии до 100 *м* от места расположения датчика. Габариты прибора 500×900×450 *мм*. Диапазоны измерения — 0—3, 0—10, 0—30, 0—100 *мг/л*.

Фотоэлектрический проточный ультрамикроскоп типа ФПУ-1 предназначен для периодического контроля количества взвешенных в воде частиц и их дисперсности. Действие прибора основано на регистрации импульсов рассеянного частицами света при прохождении ими освещенного объема измерительной кюветы. Габариты отдельных частей прибора: датчика — 500×300×105 *мм*, блока усиления — 560×270×... *мм*, блока пробоподготовки — 2... ×285×188 *мм*, блока высоковольтного стабилизатора БВ-2-215×215×390 *мм*, стабилизатора — ФСН-200-130×160×280 *мм*. Диапазоны измерений: по счетной концентрации — от 10^2 до 10^7 *частиц/см*^{3}, по весовой концентрации взвешенных веществ — от 0,01 до 4 *мг/л*; по дисперсному составу — от 0,1 до 30 *мкм*. Объем пробы — 80—180 *мм*, время одного замера — до 6 *мин*.

Прибор для измерения цветности воды ЦВ-201 предназначен для непрерывного автоматического контроля цветности воды в процессе ее очистки на водопроводных станциях. Принцип его действия основан на измерении разности оптической плотности воды в коротковолновой области спектра (400—440 *мм*) и красной области видимого спектра (660—700 *мм*), что позволяет исключать влияние изменения мутности воды на результаты измерений. Габариты прибора: 1800×900×500 *мм*. Пределы измерений: 0—10, 0—100 *град* при мутности воды до 10 *мг/л*.

Автоанализатор содержания фтора АФ-297 *предназначен для автоматического* измерения концентрации фтора в питьевой воде на фторирующих и обесфторивающих установках станций водоподготовки. Принцип действия прибора основан на измерении интен-

ности окраски воды при добавлении к ней ализарин-циркониевого индикатора. Габариты отдельных частей прибора: измерительного блока — 1800×800×450 *мм*, блока усиления — 480×400×210 *мм*. Диапазон измерений 0—1,5 *мг/л*.

Автоматический титрометр дискретного действия фотометрический ТАД-1ф-01 предназначен для определения щелочности воды на станциях водоподготовки. Принцип действия прибора основан на использовании метода объемного титрования пробы воды с фотометрической фиксацией изменения окраски добавляемого в нее смешанного индикатора в точке эквивалентности. Подача титрующего раствора кислоты производится при помощи шприц-дозатора. Габариты отдельных частей прибора: блока титрования — 1600×800×400 *мм*, щита управления — 1500×800×600 *мм*. Диапазон измерений — 0—6 *мг-экв/л*.

Автоматический титрометр дискретного действия потенциометрический ТАД-1п-01 предназначен для определения концентрации известкового молока на станциях обработки воды. Принцип действия прибора основан на использовании метода объемного титрования пробы известкового молока с потенциометрической индикацией точки эквивалентности. Титрующий раствор кислоты подается шприц-дозатором. Доза анализируемого раствора — 5 и 10 *мл*, доза разбавителя (дистиллированная вода) — 50 и 100 *мл*. Габариты прибора аналогичны ТАД-1ф-01. Пределы измерений: 0—1 и 0—5 весов. проц. по CaO.

Автоматический потенциометр-концентратомер АПК-01м предназначен для непрерывного автоматического измерения содержания остаточного хлора в питьевой воде. Принцип действия его основан на деполяризации йодом, выделяющимся из раствора йодистого калия в присутствии свободного хлора, положительного электрода электрохимической ячейки платина—медь, степень деполяризации зависит от количества хлора в воде и от скорости протекания воды через ячейку. В комплект прибора входят блок датчика (габариты 400×480×290 *мм*), потенциометр ПСР1-09 и дублирующий прибор — электронный мост МА-4К. Диапазон измерения — 0,1 и 0—3 *мг/л*.

Кондуктометрический концентратомер типа КК-3 пригоден для измерения концентрации рабочих растворов коагулянтов — сернокислого глинозема 1—15 проц. весовых и хлорного железа 1—7 проц. весовых в расчете на товарный продукт. Принцип действия его основан на измерении электропроводности жидкостей (10^{-1}—10^{-4} $ом^{-1} \cdot см^{-1}$) при помощи погружной (глубина погружения до 2 *м*) или проточной 4-электродной ячейки. Вторичным прибором является электронный мост типа ЭМД. Сигнализатор уровня—фотоэлектрический типа СУФ-42, предназначен для автоматического контроля границы осадка или активного ила в отстойниках. Принцип действия его основан на резком увеличении оптической плотности просвечиваемого слоя среды при переходе от воды к осадку. Погрешность определения границы раздела жидкость — осадок равна ±50 *мм*, глубина погружения — до 5 *м*. Изготовляется в двух

модификациях — с базой 30 *мм* для первичных отстойников и с базой 50 *мм* для вторичных отстойников. Прибор бесшкальный с выходом на электронный усилитель с передачей сигнала в релейную линию. В его комплект входят датчик, блоки трансформатора и усилителя, габариты датчика 45×160×245 *мм*.

Все приборы СКБ АП изготовляются серийно опытным заводом.

Кроме перечисленных крупных разработок приборов, для контроля и регулирования технологических процессов обработки воды имеются единичные разработанные приборы. В частности, в ЦНИИ МПС разработан автоматический колориметрический индикатор содержания остаточного хлора в воде [212]. Анализатор для активного хлора с ртутным электродом создан в СПКБ треста Оргтехавтоматика. Там же разработан и мутномер фотоэлектрический типа МФ 383, работающий на турбидиметрическом принципе. Пределы измерения — от нескольких *мг/л* до 1—2 *г/л*.

§ 95. Автоматизация станций обработки воды

Применение различных типов контрольно-измерительных приборов для определения и регулирования качественно-количественных показателей обработки воды зависит от принятой технологической схемы, типа сооружений и вспомогательного оборудования. Следует отметить, что оснащение очистных сооружений контрольно-измерительными приборами позволяет автоматизировать ряд технологических процессов и повысить качество воды.

Может быть рекомендована примерная схема использования на очистных сооружениях водопроводов описанных выше приборов для контроля качественных показателей очистки воды коагулянтами, а также обычных количественных измерительных приборов, выпускаемых отечественной промышленностью. В воде, поступающей на обработку до введения в нее хлора, определяется pH, мутность и цветность. Вторичные приборы устанавливаются на местном диспетчерском пункте очистных сооружений. Здесь же на технологическом щите сосредоточиваются вторичные приборы от: расходомеров, устанавливаемых на каждом отдельном блоке, концентратомеров, используемых для контроля приготовления растворов коагулянтов, дозаторов, устанавливаемых на каждом смесителе, и приборов для контроля дозы коагулянта по количеству дозаторов. Расходомеры следует использовать с позиционными регуляторами, позволяющими с диспетчерского пункта производить перераспределение воды по отдельным блокам сооружений. Позиционные регуляторы концентратомеров могут быть применены для сигнализации, а также для автоматизации процесса приготовления растворов коагулянта. Дозаторы совместно с приборами, контролирующими дозу, используются для автоматизации подачи растворов коагулянта на очистку воды.

В случае применения смешанных коагулянтов дозировать их следует из общего растворного бака, где приготовляется оптимальная смесь. При раздельной подаче коагулянтов, а также при одно-

временном введении коагулянта и извести автоматическое регулирование дозаторов при помощи приборов, контролирующих дозу, невозможно. В этом случае их автоматизируют на основе показаний ходомера-дозатора.

Добавление в воду хлора (до 5 *мг/л*), а также угольного порошка не вносит заметных искажений в работу прибора, контролирующего дозу коагулянта по электропроводности.

Ввод извести в воду желательно производить в камерах реакции или отстойниках. Такой способ подщелачивания обычно применяется в высокоцветных водах для повышения pH воды после очистки до норм ГОСТ. Дозировка извести производится дозатором, управление которым осуществляется от позиционного регулятора автоматического pH-метра.

В случае очистки воды с высокой цветностью в выходящей из камер реакции воде определяется цветность. В отстойниках устанавливаются уровнемеры, а в выходящей из них воде определяется мутность упрощенным фототиндалеметром Вторичные приборы их выносятся на местный диспетчерский пункт. Отложение осадка в отстойниках периодически контролируется переносным прибором.

Приборы, контролирующие работу фильтров, размещаются на пультах управления в фильтровальном зале. Ячейки фильтров оборудуются расходомерами, используемыми в качестве регуляторов скорости фильтрации, дифманометрами для измерения перепада давлений в толще песка и упрощенными приборами, контролирующими мутность фильтрованной воды. Для контроля промывки фильтров используется фотоэлектронная установка, а расширение песка при промывке контролируется фотореле. Датчики фотоэлектронной установки монтируются на канализационном трубопроводе каждого фильтра. Вторичный прибор общий; он размещается на отдельном щите вместе с прибором для контроля интенсивности промывки (переградуированный расходомер). С пультов управления фильтрами на местный диспетчерский пульт выводятся сигнальные устройства работы и промывки фильтров.

В резервуаре чистой воды устанавливается уровнемер, используемый для управления работой насосов первого подъема. Показания его передаются на местный диспетчерский пункт. При выходе воды из очистных сооружений устанавливается расходомер и приборы для определения pH агрессивности, мутности и цветности воды, а также остаточного хлора.

В качестве примера автоматизация отдельных стадий обработки воды на рис. 170 приведена принципиальная схема контроля и регулирования приготовления раствора коагулянта [35, 197]. Этой схемой предусматривается получение концентрированного раствора в растворном баке с последующим разбавлением его в двух поочередно используемых расходных баках. В первый бак загружается определенный объем товарного продукта и наливается вода до уровня, обеспечивающего получение раствора 20% вес, одновременно включается воздуходувка для перемешивания. Разбавление раствора до 5% вес. производится путем заполнения расходного

бака на 1/4 концентрированным раствором, затем доливается вода и включается воздуходувка. Наполнение баков контролируется соответствующими сигнализаторами уровня, концентрация раствора коагулянта в расходном баке корректируется на основании показаний концентратомера. В качестве запорных устройств на трубопроводах для воды, сжатого воздуха и раствора коагулянта используются соленоидные вентили.

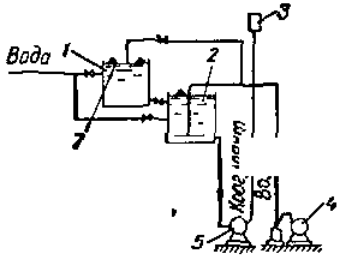


Рис. 170. Принципиальная схема автоматизации приготовления растворов коагулянта:
1 — растворный бак *2* — расходный бак, *3* — дозатор коагулянта, *4* — воздуходувка *5* — насос; *6* — уровнемеры-сигнализаторы, *7* — концентратомер.

Принципиальная схема автоматического дозирования раствора коагулянта или известкового молока пропорционально расходу воды с применением насоса-дозатора приведена на рис. 171. По этой схеме вторичные приборы расходомера для воды и расходомера для раствора коагулянта подключаются к электронному регулятору ЭР-Щ—59 управляющему исполнительным механизмом насоса-дозатора, используется также корректирующий импульс от вторичного прибора концентратомера раствора коагулянта. На станциях обработки воды с самотечными линиями для раствора коагулянта вместо насоса-дозатора используют задвижки с электроприводом. Для этих целей могут применяться также описанные ранее (см. стр. 369) дозаторы раствора коагулянта системы ИОНХ АН УССР, расходомеры которых блокируются с электронным регулятором.



Рис 171 Принципиальная схема автоматического дозирования раствора коагулянта пропорционального расходу воды
1 — исполнительный механизм ИМТ 25/120, *2* — балансное реле, *3* — задатчик пропорционального регулирования по расходу исходной воды, *4* — станционный задатчик для установки дозы коагулянта, *5* — реверсивный пускатель *6* — подача коагулянта в трубопровод обрабатываемой воды; *7* — дозирующий насос, *8* — подвод раствора коагулянта, *9* — редуктор

Получившие в последние годы распространение насосы-дозаторы типа НД не позволяют изменять дозу реагента, определяемую длиной хода плунжера, без остановки двигателя. Поэтому весьма перспективной является предложенная Всесоюзным теплотехническим институтом (ВТИ) им. Ф. Э. Дзержинского система импульсного регулирования производительности таких насосов. Блок-схема этой

системы приведена на рис 172; в ней предусмотрен электронный импульсатор, позволяющий регулировать длительность работы и простоя насоса в зависимости от расхода воды [35].

В водах с малой минерализацией (суммарная концентрация солей до 5 *мг-экв/л*) автоматическая стабилизация дозы коагулянта

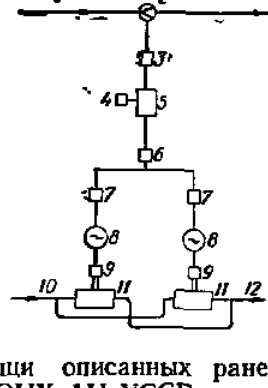


Рис 172 Импульсная система автоматического регулирования производительности насоса-дозатора типа НД

1 — обрабатываемая вода *2* — диафрагма, *3* — дифманометр; *4* — задатчик, *5* — электронный импульсатор; *6* — ключ автоматического управления *7* — магнитные пускатели *8* — электродвигатели, *9* — устройство для изменения длины хода плунжера насоса-дозатора, *10* — дозируемый реагент из расводаого бака, *11* — насосы дозаторы *12* — реагент на смешение с водой.

в воде может быть осуществлена при помощи описанных ранее дозаторов Ленгорводопровода и системы ИОНХ АН УССР, принцип действия которых основан на изменении электропроводности воды. На рис. 173 приведена схема регулирования дозы коагулянта по изменению электропроводности воды с насосом-дозатором [35], производительность которого регулируется датчиком, измеряющим изменение электропроводности воды (прибор АОВ-4, системы ИКХХВ АН УССР). При очистке воды с постоянной минерализацией, но небольшой мутностью, дозирование коагулянта может осуществляться на основании показаний фототиндалеметра АОВ-9 А,



Рис 173. Принципиальная схема регулирования дозы ко а по изменению электропр сти воды.

1 — насос-дозатор *2* — редуктор, *3*, *4* — датчики для измерения электропроводности воды, *5* — электронный мост *6* — электронный усилитель, *7* — реверсивный магнитный пускатель, *8* — исполнительный механизм

который определяет увеличение мутности воды в результате образования хлопьев гидроокиси алюминия или железа (рис 174). В настоящее время разработана наиболее универсальная схема регулирования дозы коагулянта по изменению щелочности воды при ее обработке. Разработаны также схемы оптимизации процессов

осветления и обесцвечивания воды по остаточной мутности и цветности.

Автоматический контро... регулирование процесса подщелачивания воды основан на п... нении промышленных образцов pH-метров со стеклянным электродом (см. стр. 386). Наиболее перспективной является схема, предложенная ВНИИ ВОДГЕО [182], в со-

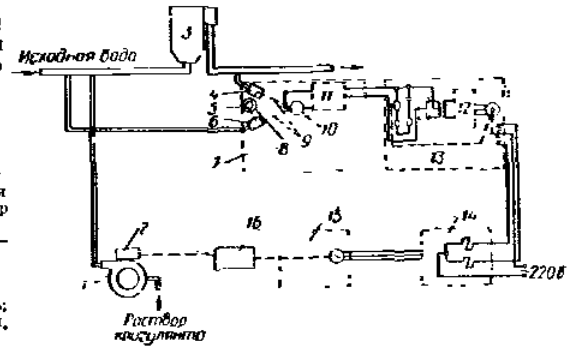


Рис 174 Принципиальная схема регулирования дозы коагулянта по изменению мутности воды

1 — насос дозатор *2* — механизм регулирования производительности насоса-дозатора *3* смеситель *4, 6* — кюветы прибора исходной и обработанной коагулянтом водой, *5* — ...льная лампочка *7* — фо... еметр АОВ-9А, *8* — свето... модулятор; *9* — светов... эки *10* — фотоэлеме... *11* и... *12* — элек... ные усп... и *13* — элек... ный поте... эметр *14* — ... сивный магнитный пускатель; *15* — исполнительный механизм, *16* — регулятор

ответствии с которой изменение подачи известкового молока производится по отклонению величины pH обрабатываемой воды от заданного значения (рис 175). В качестве дозаторов целесообразно использовать описанные ранее конструкции ДИМБА (см. стр. 370) Во избежание транспортных запаздываний в последние

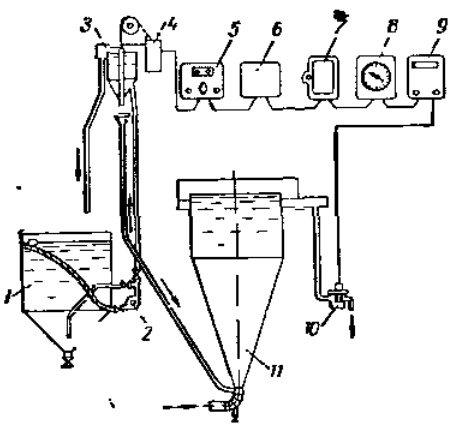


Рис 175 Принципиальная схема автоматизации дози... ния известкового молока по ...чине pH обрабатываемой воды

1 — тиф... ческая мешалка *2* — цирку... ляцио... й насос, *3* — циркуляцион... ный ... ф, *4* — электродвигатель с ред... *5* — щиток дистанционного ... ник, *6* — магнитный пускатель *7* — э... ...онный регулятор, *8* — потенциомет... ...метра *9* — высокоомный преобразователь, *10* — датчик pH метра, *11* — вертикальный смеситель

годы в этом же институте разработана комбинированная схема, основанная на сочета... ...я регу... ...я по ...онению с регулированием по возмуще... о [10] изв... ого молока изменяется с изменением расхода обрабатываемой воды, а доза корректируется по показаниям pH-метра.

Автоматизация хлорирования в существующих схемах основана на подаче хлора пропо онально расходу воды при первичной подаче его в воду, при вторичном хлорировании производится корректирование дозы хлора по показаниям анализатора остаточного хлора (рис. 176). В последние годы НИКТИ городского хозяйства

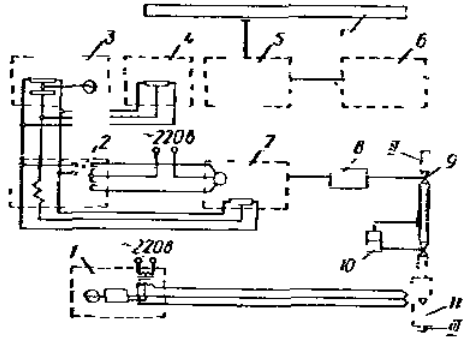


Рис. 176 Принципиальная схема автоматического регулирования процесса хлори с коррекцией расхода чине остаточного хлора в воде

1 — расходомер, *2* — бесконтактное реле, *3* — блок задатчиков пр нального регулирования во ра цы, *4* — дистанцион задатчи ка хлора; *5* — ан атор ост хлора, *6* — электронный мост, *7* — и нительный механизм, *8* — редукто) — вентиль, *10* — регулятор давл , *11* — ротаметр Трубопроводы I — обрабатываемой воды, II — подачи хлора в обрабатываемую воду III — поступления хлора.

МКХ УССР совместно с ИКХХВ АН УССР разработана схема автоматизации процесса хлорирования воды с учетом точки перелома, что очень важно при обработке природных вод, очень часто содержащих аммиак и его соединения. Эта комбинированная с хема, названная «аква хлор», сочетающая пропо дози вание хлора и коррекцию его дозы в воде, до амизатором, осуществляющим поиск экстремальных областей процесса хлориро ния.

Работа отстойников и осветлителей автоматизируется пока лишь в направлении контроля уровней воды и осадка в них с автоматическим сбросом последнего при достижении граничного положе-

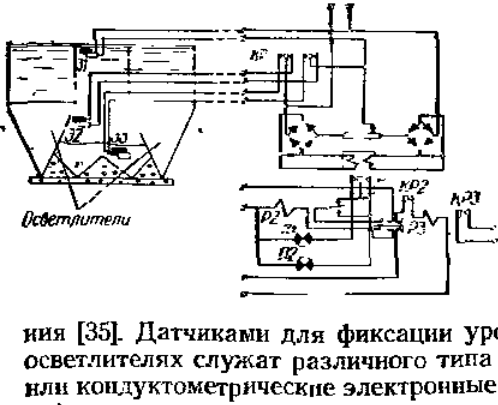


Рис. 177 Принципиальная схема автоматизации выпуска осадка из осветлителей

Э1, Э2, Э3 — электродные пары, Р1, Р2 и П3 — поляризованные и промежуточные реле КР2 и КР3 — контакты промежуточных реле, Л1 и Л2 — сигнальные лампочки.

ния [35]. Датчиками для фиксации уровня осадка в отстойниках и осветлителях служат различного типа фотоэлектронные устройства или кондуктометрические электронные пары (рис 177).

Автоматизация скорых фильтров станций обработки воды может основываться на количественном и качественно-количествен-

ном принципе регулирования их работы. Во всех случаях задвижки фильтров оборудуются электроприводами или гидроприводами. По схеме автоматиз ии фильтров с прим нением ктрозадвижек импульс перевода ф..ьтра на режим про ..вки по...ется дифманометром, измеряющим потерю напора в слое фильтрующей загрузки. Выбор фильтра для промывки про эдится при помощи релейной схемы с шаговым искателем. Пер..ключение задвижек, обеспечивающее прекращение подачи воды на фильтр и ее фильтрацию после снижения горизонта воды до уровня желобов (контро уется электродным реле), открытие канализационного трубопровода и подвод промывной воды осуществляются релейной схемой в соот-

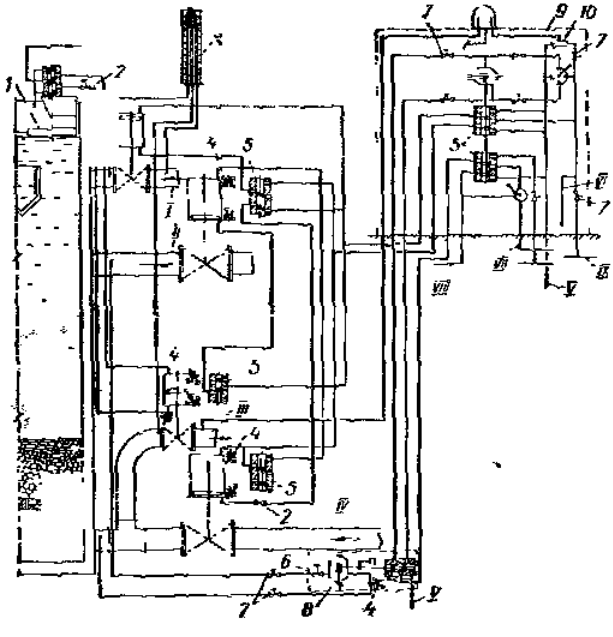


Рис. 178. Принципиальная схема автоматизации скорых фильтров с гидроприводом задвижек.

1 — поплавковый регулятор, *2* — вентили запорные, *3* — щиток измерения, *4* — в вые выключател — ги ключатели, *5* — игольчатый ве ь; *7* — краны про ые, датчик промывки, *9* — шкаф управления, *10* — эжектор Тр ды *I* — подачи воды, *II* и *V* — стока, *III* — подачи в Р промывки *VI* — к регулятору. *VII* и *VIII* — магистрали управления от соседних фильтров, *IX* — питающего водопровода.

ветствии с принятым технологическим режимом. Продолжительность промывки регулируется при помощи реле времени типа РВТ-1200. Посл окончания пр ..вки при ..и релейной схемы производится ратное перек ение зад на режим фильтрации. Скорость фильтрации регулируется при помощи ранее описанных схем (см. стр. 375).

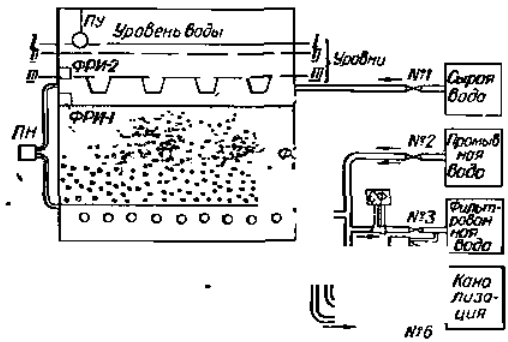
Система автоматического управления фильтрами Гидрокоммунводоканала с гидроприводами приведена на рис. 178. Выход фильтра на промывку происходит автоматически при помощи датчика, состоящего из гидрозатвора мембранного типа и гидравлического переключателя клапанного типа, подключенных на разность напоров между высотой столба воды на фильтре и в трубопроводе фильтрованной воды. При определенном заданном значении этот датчик переключает клапанный переключатель, связанный с внутренним водопроводом станции. При этом вода поступает в нижнюю полость установленного в шкафу управления гидропривода, шток которого, поднимаясь, переключает два соединенных с ним гидропереключателя. Один из них обеспечивает подачу воды в гидроприводы задвижек, второй — блокирует одновременный выход на промывку двух фильтров. Последовательность переключения задвижек осуществляется в соответствии с принятым режимом. Поступающая на промывку вода постепенно (игольчатый вентиль) возвращает в исходное положение шток датчика промывки в течение времени, требуемого на промывку фильтрующих слоев. После этого производится обратное переключение задвижек на режим фильтрации. В последних разработках Гипрокоммунводоканала предложена гидроэлектрическая схема автоматизации управления работой фильтров. При этом все операции в пределах фильтра, оборудованного задвижками с гидроприводом, выполняются с использованием воды в качестве рабочей среды, а связь между фильтрами — электрическая. При этом используются описанные ранее электропневматические распределители (см. стр. 376).

Примером автоматизации скорых фильтров на основе использования качественно-количественного принципа регулирования может служить схема, предложенная ИКХХВ АН УССР для фильтров с электрифицированными задвижками (рис. 179). Этой схемой предусматривается использование для регулировки работы фильтров с количественной стороны — расходомеров с датчиками ДМ и вторичным прибором ЭПИД, переоборудуемых в регуляторы скорости фильтрации, и с качественной стороны — упрощенных фотоиндалеметоров, контролирующих мутность фильтрованной воды. Периодическая промывка фильтрующего слоя песка регулируется фотоэлектронной установкой. В схему могут быть включены в качестве контрольных или регулирующих приборов дифманометры, измеряющие перепад давления в толще песка и фото-реле для наблюдения за уровнем песка при промывке. Исполнительными механизмами в схеме являются обычные задвижки с электроприводами, снабженные реверсивными пускателями и конечными путевыми выключателями.

Поддержание скорости фильтрации в заданных пределах обусловливается позиционным регулятором расходомера, включающим при помощи импульсного реле электродвигатель фильтрационной задвижки на открытие или закрытие. Импульсное реле используется для согласования режима регулировки с инерцией фильтра. Если при полностью открытой задвижке скорость фильт-

рации падает ниже определенного предела, то позиционный регулятор расходомера дает импульс на прекращение фильтрования воды. Такой же импульс получает фильтр от позиционного регулятора прибора, контролирующего мутность воды, если она превысит допустимые нормы.

При наличии в промывном баке воды или при включенном промывном насосе фильтр переключается на промывку посредством



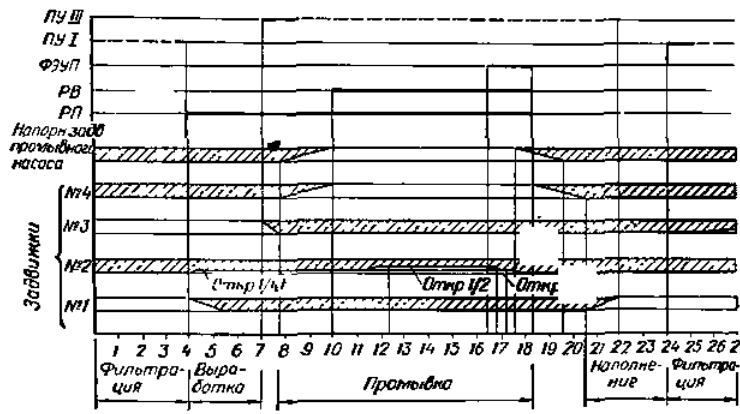


Рис. 179. Упрощенная схема автоматизированного скорого фильтра с электрозадвижками:

ПУ — поплавковое устройство, П… юр, контролирующий потери напора СФ — прибор, контролирующий с… фильтрации, ФЭУП — фотоэлектронная установка для контроля промывки; …ФПИ — фотоэлектронный нефелометр для измерения мутности воды, ФРИ — 1 и ФРИ — 2 фотоэлектронное …е, контролирующее интенсивность промывки, РВ — реле времени, … -реле промывки

закрытия задвижки на трубопроводе, подводящем воду из отстойника. Пониж…ие уровня воды в фильтре до верхней кромки желобов контро…руется поплавковым реле, с …печивающим закрытие задвижки на трубопроводе фильтрованной воды. Последовательное открытие задвижек канализационной и промывной воды

производится при помощи дополнительных реле, подключенных к магнитным пускателям и конечным выключателям.

Фотоэлектронная уст вка включается при открытии задвижки промывной воды. Она к...гролирует промывку фильтрующего слоя песка и дает импульс на прекращение промывки фильтра после достижения заданной степени прозрачности промывных вод. Фотореле используется обычно в качестве сигнального устройства, при помощи которого определяется расширение песка при промывке и предупреждается его вынос.

Последовате... переключение задвижек на фильтрование воды также п... ится при помощи дополнительных релейных схем. Постепенное открытие фильтрационной задвижки осуществляется импульсным реле, соединенным с регулятором скорости фильтрации.

Автоматическое управление насосами промывной воды производится в зависимости от уровня воды в промывных баках. При отсутствии на станции обработки воды промывных резервуаров промывные насосы включаются конечными выключателями при открытии задвижки на канализационном трубопроводе, а останавливаются конечными выключателями при ее закрытии.

ГЛАВА XX

ПРИМЕРЫ КОМПОНОВОК СТАНЦИЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Пример 1. Станция осветления и обесцвечивания воды с содержанием взвешенных веществ до 2000 *мг/л* и цветностью до 150 *град* производительностью 20000 *м³/сутки* (типовой проект, разработанный ЦНИИЭП инженерного оборудования).

Техно...ическая схема, обеспечи...ая получение хозяйственно-пить... й воды, принята следующ... работка реагентами (сернокислый глинозем, известь, акти... ванны... уголь, полиакриламид, хлор, кремнефтористый нат...), осветление в осветлителях со взвешенным осадком, фильтро... ие на скорых однопоточных фильтрах с крупнозернистой загрузкой.

На площадке станции (рис 180), кроме основного здания, предусматривается размещение отдельно стоящих сооружений: резервуаров чистой воды, башни для хранения промывной воды, хлораторной со складом хлора и котельной Внутри здания очистной станции находятся: блок реагентного хозяйства, блок осветлителей и фильтров, блок насосной станции, блок бытовых и служебных помещений (рис 181). Основные реагенты — коагулянт и известь— доставляют автосамосвалами и сгружают в железобетонные баки-хранилища. Для коагулянта предусмотрено четыре бака, где он хранится в сухом или замоченном состоянии. Емкость этих баков— хранилищ ...нята из расч... 1,5 *м³* на 1 *т* коагулянта и обеспечивает запас 20 дней. Отс... ившийся раствор перепускается в расходные баки и разбавляется до 6%-ной концентрации. Емкость двух расходных баков, равная 15,5 *м³*, рассчитана на срабатывание

одного бака за 8 *ч*. Разбавленный раствор подается насосами-дозаторами НД-1600/10 в трубопровод сырой воды перед смесителями. Растворы пе[illegible]ются [illegible]здухом при помощи воздуходувок ВВН-12; инт[illegible]ь его [illegible]цачи в баки-хранилища и растворные баки, соответственно, равна 9 и 5 *л/сек* на 1 $м^2$. Для извести-кипелки предусмотрено два бака, где она гасится водой и хра-

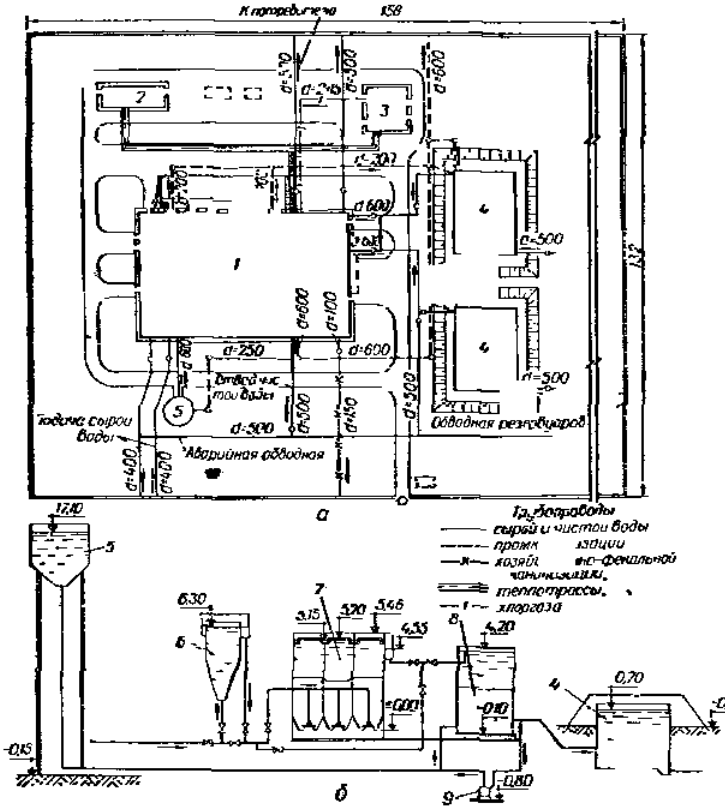


Рис. 180. Станция обработки воды с осветлителями производительностью 20 000 $м^3$/сутки

а — генеральный план, *б* — высотная схема сооружений, *1* — здание станции обработки воды, *2* — котельная, *3* — хлораторная с расходным складом хлора, *4* — резервуары чистой воды, *5* — башня для хранения промывной воды с баком емкостью 300 $м^3$; *6* — вертикальный смеситель, *7* — осветлитель коридорного типа, *8* — скорые фильтры; *9* — промывной насос.

нится в виде теста; при этом 1 *т* извести занимает объем 2,8 $м^3$. Емкость баков рассчитана на содержание 19-дневного запаса. Тесто грейфером на кран-балке подается в специальный резервуар для размыва и получения известкового молока, которое стекает по лотку в мешалку емкостью 8 $м^3$, где его концентрация доводится до 3,4%. Перемешивание известкового молока в мешалке, а также

подача его к дозаторам ДИМБА, установленным над смесителями, осуществляется циркуляционным насосом 2½НФ; возможна подача раствора и перед фильтрами (в сборный канал осветлителей).

Активированный уголь хранится в таре на складе, рассчитанном на 15-дневный запас. Оборудование углевальной установки, отде-

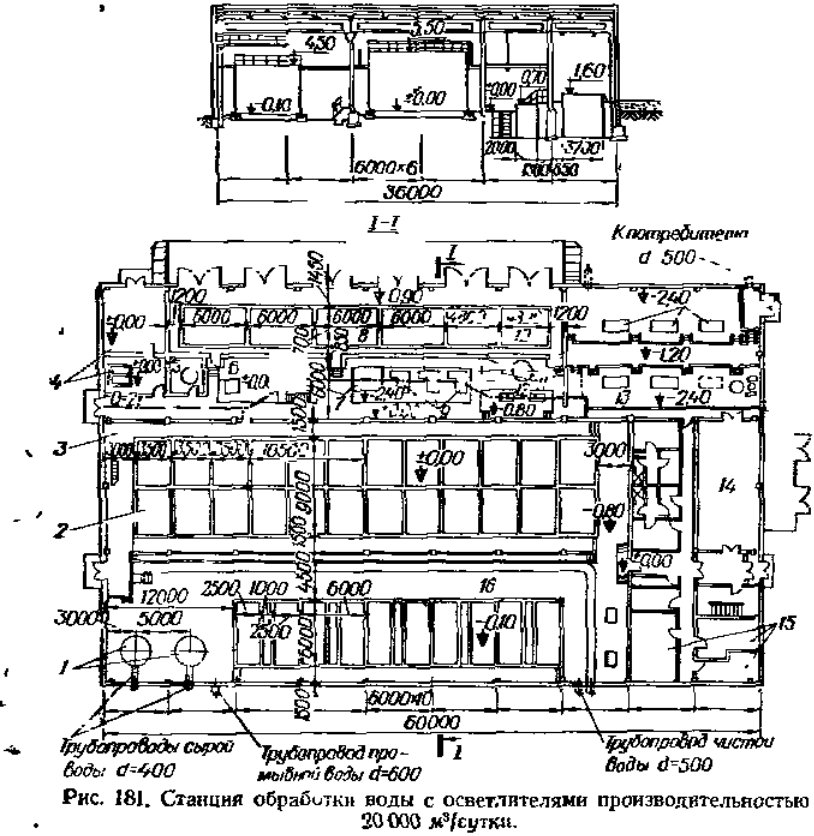


Рис. 181. Станция обработки воды с осветлителями производительностью 20 000 м³/сутки.

а — разрез, *б* — план первого этажа, *1* — смесители, *2* — осветлители *3* — зал осветлителей и фильтров, *4* — углевальная со склад ом *5* — фторатор ная со складом *6* — дозаторная и склад ПАА, *7* — расходные баки для коагулянта *8* — баки для мокрого хранения коагулянта *9* — воздуходувки, *10* — баки известкового теста, *11* — мешалки известкового молока, *12* — циркуляционные насосы, *13* — насосная станция второго подъема, *14* — КТП и ЩСУ *15* — химическая и бактериологическая лаборатория, *16* — скорые фильтры

ленной от склада перегородкой, состоит из вакуум-бункера для угольного порошка, секторного питателя и двух баков, где приготовляется угольная пульпа 6%-ной концентрации. Последняя насосом НП-1м подается в дозаторы ДИМБА, размещенные над смесителем; возможно поступление ее после дозаторов в воду перед фильтрами. Пульпа в баках перемешивается воздухом, поступающим от воздуходувок ВВК-12. Пневмотранспорт реагента обеспечивается вакуум-насосом ВВН-1,5.

Полиакриламид хранится в таре на складе, вмещающем 27-дневный запас; там же установлена лопастная мешалка конструкции ПКБ АКХ для приготовления 0,2% ного раствора реаге за, который затем насосом 2К-6 перекачи ется в два расход к бака Емкость их рассчитана на 6 часовую работу каждого Дозирование раствора пол ида прои ся по вковыми дозаторами, и при пом.. ктора он ся в сборный карман смесителя, т. е. через 1,5—2 *мин* после ввода коагулянта

Кремнеф ристый натрий хранится в таре в изолированном от фтораторно установки складе При помощи пневмотранспорта (обслуживаемого вакуум насосом ВВН 1,5) он подается в вакуумбункер и через секторный питатель в сатуратор диаметром 1,6 *м*. Насыщенный раствор кремнефтористого натрия самотеком поступает в тру од чистой воды ле фильтров

Хлор в газообразном виде поступает из отдельно стоящего склада, где устан и испа ели *Д* ирование ится при помощи горов ЛИИ . Для пер ирования производительность их равна 1,3—8,1 *кг/ч*, для вторичного — 0,2—1,3 *кг/ч*.

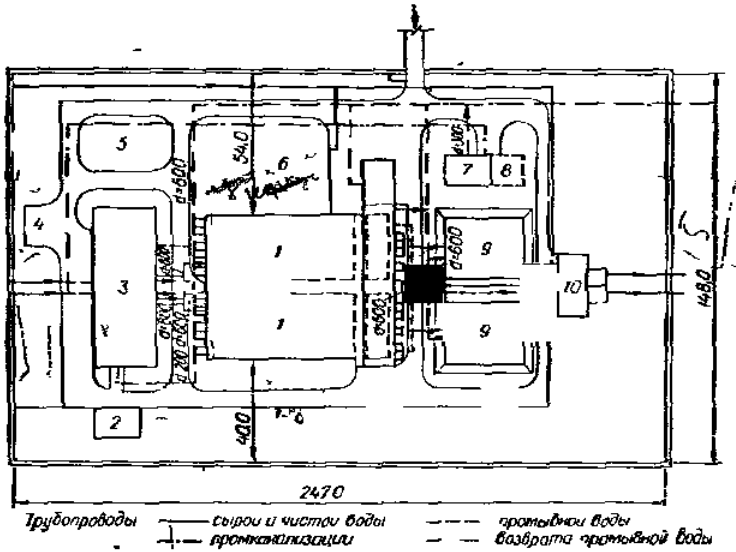
Станция оборудована двумя смесителями вихревого типа (объем — 12,5 *м*³, диаметр — 2,5 *м*, время пребывания воды — 1,8 *мин*); четырьмя осветлителями со взвешенным осадком коридорного типа (размер 10,5×9,0 *м*) и пятью скорыми фильтрами (размер в плане 6×6 *м*, пл адь фильтрации 26,7 *м*²) Каждый осветлитель состоит из двух рабочих камер—зон осветления (общая площадь 55,5 *м*²) и центр располо о осад пла площадь 31 *м*²). Они ра ны для с ния в с взвешенных веществ от 100 до 400 *мг/л*, при кратковременном повышении до 2000 *мг/л* Скорость выходящего ока воды в зоне осветления р работе трех осветлителей соста ет 1,01 *мм/сек*, при четырех — 0,76 *мм/сек*. Коэффициент распределения воды между зоной осветления и отделения осадка равен 0,7. Скорые однопоточные фильтры имеют дренаж большого сопротивления с поддерживающими гравийными слоями высотой 550 *мм* Фильтрующий слой песка с крупностью частиц 0,9—1,8 *мм* имеет высоту 1800 *мм*. Скорость фильтрации при норм ной работе составляет 5,7 *м/ч*, при одном промывающемся ф ьтре — 8,4 *м/ч*, при ф сированном режиме — 11,2 *м/ч* Промывка фильтров производится от водонапорной башни (высота 12 *м*, бак емкостью 300 *м*³), интенсивность—17 *л/сек·м*². Вода в башню подкачивается насосами 8К-18. Для сокращения расхода воды на собственные нужды, при соответствующем обосновании, возмо о устройство сооружений для повторного использования промы й во ы

Пр. 2 Станция осветления и обесцвечивания воды с содержанием взвешенных веществ до 1000 *мг/л* и цветностью до 150 *град* производительностью 63000 *м*³/*сутки* (типовой проект, разработанный Г , окоммунводоканалом)

Технологическая схема, обеспечивающая получение хозяйственно-питьевой воды, принята следующая: обработка реагентами (сер-

окислый глинозем, известь, активированный уголь, полиакриламид, хлор), осветление в горизонтальных отстойниках со встроенными камерами хлопьеобразования, фильтрование на скорых однопоточных фильтрах с двухслойной загрузкой.

На площадке станции (рис 182) предусматриваются здание реагентного хозяйства, здание фильтров, состоящее из блока фильтров отстойников и блока служебных помещений (рис. 183), резервуары чистой воды, насосная станция второго подъема, расходный



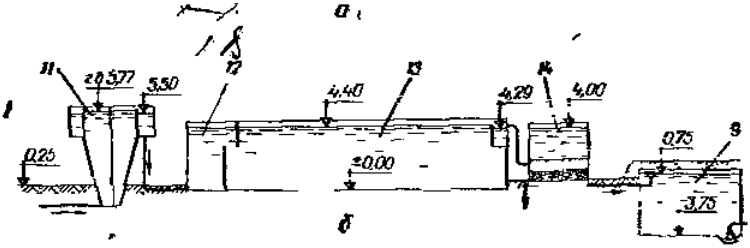


Рис 182. Станция обработки воды с горизонтальными отстойниками производительностью 53 000 м³/сутки:

а — генеральный план; *б* — высотная схема сооружений; *1* — блок фильтров и отстойников *2* — расходный склад хлора, *3* — здание реагентного хозяйства, *4* — площадка для размещения микрофильтров *5* — то же для озонаторной, *6* — песковое хозяйство, *7* — сооружения для повторного использования промывной воды *8* — площадка для подсушивания осадка, *9* — резервуары для чистой воды, *10* — насосная станция второго подъема *11* — смесители, *12* — камеры хлопьеобразования *13* — горизонтальные отстойники, *14* — скорые фильтры

склад хлора, сооружения пескового хозяйства Возможно также размещение сооружений для повторного использования промывной воды, озонаторной установки, микрофильтров.

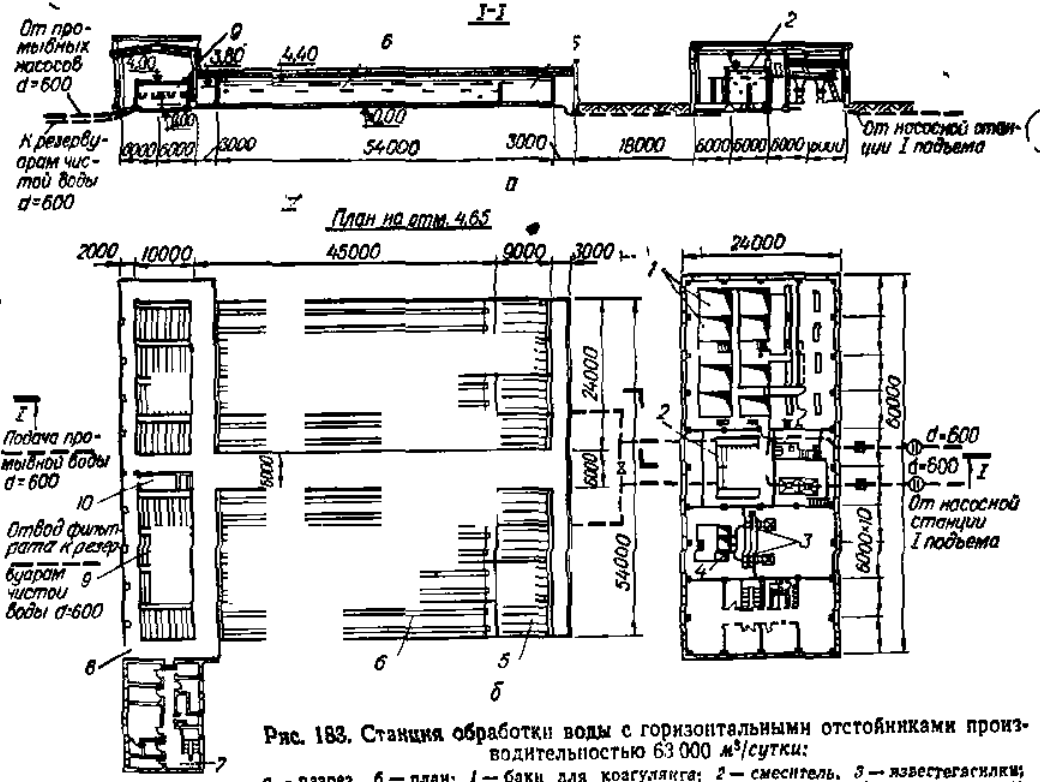


Рис. 183. Станция обработки воды с горизонтальными отстойниками производительностью 63 000 м³/сутки:

а — разрез, б — план; 1 — баки для коагулянта; 2 — смеситель, 3 — известегасилки; 4 — баки для известкового молока, 5 — камеры хлопьеобразования, 6 — горизонтальные отстойники, 7 — служебные помещения, 8 — зал фильтров, 9 — скорые фильтры, 10 — хлораторная.

Основные реагенты — коагулянт и известь — доставляются автосамосвалами. Ко... лянт выгружают в два растворных бака, где приготовляется ко...центрированный раствор, который затем насосами перекачивается в баки для мокрого хранения коагулянта (6 шт.). И... ть складируют в сухом виде; грейфером на кранбалке она ...гружается в приемные воронки термомеханических известегасилок, полученное известковое молоко собирается в баках (3 шт). Раствор полиакриламида приготовляется в установке, разработанной ПКБ АКХ. Угольную пульпу приготовляют в барабанных смесителях. Растворы и суспензии реагентов дозируют при помощи электромагнитных вентилей и подключенных к ним эжекторов. Для пе...вичного и вторичного хлорирования воды используют хлораторы ...НИИ-100. газообразный хлор к которым поступает из расходного склада.

Станция оборудована двумя смесителями вихревого типа прямоугольными в плане (размещены в здании реагентного хозяйства), двумя блоками горизонтальных отстойников по четыре отделения в каждом и двумя блоками из четырех скорых фильтров.

Горизонтальные отстойники имеют встроенные камеры хлопьеобразования вертикального типа со слоем взвешенного осадка; скорость выходящего потока воды принята 7,5 *м/ч*, время пребывания ее в камере 30 *мин*. Горизонтальные отстойники рассчитаны на выпадение взвешенных веществ с гидравлической крупностью 0,605 *мм/сек*, горизонтальная скорость потока воды равна 5,3 *мм/сек*, время пребывания ее в отстойнике — 3 *ч* Размеры каждого отделения отстойника длина — 45 *м*, ширина — 6 *м*, средняя глубина — 4,5 *м*. Удаление осадка со дна отстойника предусмотрено производить гидра...ческим способом через дырчатые железобетонные короба. Ско...ые фильтры имеют размеры в плане 6×9 *м* и площадь фильтрации 43,2 $м^2$. Расчетная скорость фильтрации равна 8,9 *м/ч* при форсированном режиме — 9,5 *м/ч* Каждый фильтр снабжен боковым каналом на полную высоту фильтра, дренажом большого сопротивления из стальных перфорированных труб, на них расположен поддерживающий слой гравия крупностью 2—32 *мм*, высотой 600 *мм*. Фильтрующая загрузка двухслойная — антрацитовая крошка крупностью 0,8—1,8 *мм* (500 *мм*) и кварцевый песок крупностью 0,5—1,2 *мм* (500 *мм*). Промывка фильтров прои...ся насосами 20НДН, установленными в здании насосной станц... орого подъема с забором воды из РЧВ, интенсивность промывки составляет 15 $л/сек \cdot м^2$, продолжительность промывки — 6 *мин*. Песок в песковом хозяйстве сортируется гидравлическим классификатором ГКП-4 системы АКХ РСФСР. Отсортированный и отмытый песок гидроэлеватором подается на фильтры или складируется в специальных баках.

Пример 3. Станция осветления и обесцвечивания маломутных (до 100 *мг/л*) высокоцветных (до 150 *град*) вод с контактными осветлителями производительностью 100 000 $м^3/сутки$ (типовой проект, разработанный ЦНИИЭП инженерного оборудования).

Технологическая схема, обеспечивающая получение хозяйствен-

но-питьевой воды, принята следующая удаление грубых приме сей воды и крупных взвешенных веществ (барабанные сетки, входная камера), обработка реагентами (сернокислый глинозем, хлор), коагуляция примесей в сл нистой загрузки (контактные осветлители). В главном корпусе (рис 184) размещены все основные технологические сооружения пять барабанных сеток БС 1,5×3,0, вход-

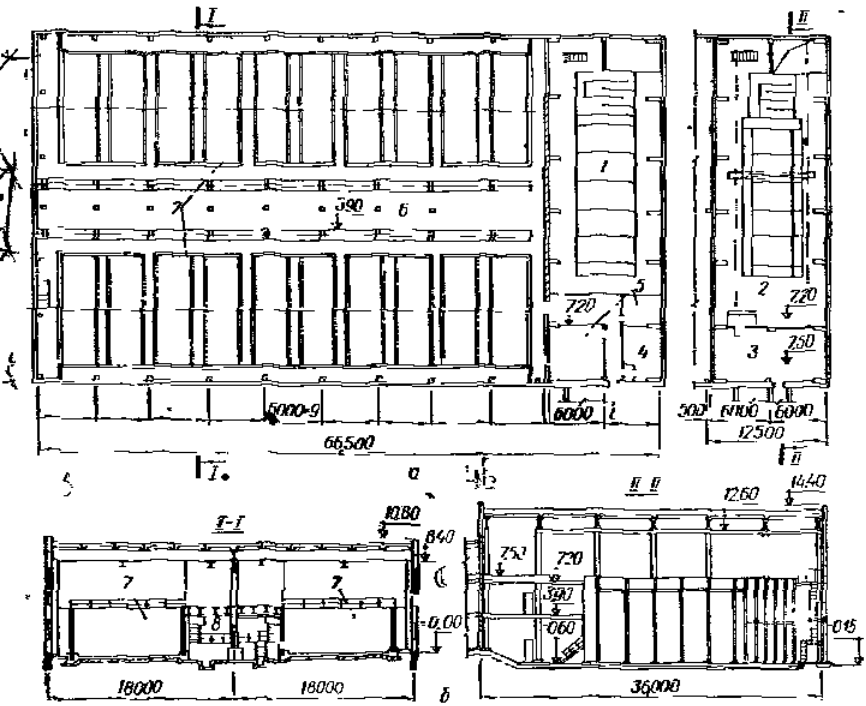


Рис. 184. Станция обработки воды с контактными осветлителями производительностью 100 000 м³/сутки

а — планы *б* — разрезы *1* — по чие входной камеры *2* — отделение барабанных сеток, *3* — диспетчерская, *4* — хлор аторная *5* — служебные помещения *6* — зал контактных осветлителей, *7* — контактные осветлители, *8* — галерея трубопроводов.

ная камера, смеситель, десять контактных осветлителей площадью 95 м² каждый, хлордозаторная, обслуживающая первичное и вто ричн хлорирование, а также служебные помещения. Реагентное хозя. .гво и расходный склад хлора размещены в отдельно стоящих зданиях. Промывка контактных осветлителей производится из отдельно расположенной башни с баком емкостью 800 м³, помещенным на высоте 12 м (рис. 185)

Пример 4 Станция умягчения подземных вод для хозяйственно питьевых нужд производительностью от 8000 до 20 000 м³/сутки (типовой проект, разработанный институтом Промстройпроект).

Технологическая схема умягчения — фильтрование обрабатываемой воды через слой натрий-катионита с последующей регенерацией его раствором поваренной соли.

Все оборудование станции размещено в одном здании (рис. 186). Для мокрого хранения поваренной соли имеется шесть железобетонных резервуаров, расположенных рядом со станцией. В здании находятся открытые железобетонные Na-катионитовые фильтры (см. стр. 283) насосный зал, трансформаторная подстанция, котельная.

Пример 5. Станция умягчения и обескремнивания воды производительностью 4800 *м³/сутки*.

Технологической схемой умягчения и обескремнивания предусмотрена обработка воды реагентами (известь, каустический магнезит, сернокислое железо), осветление ее в осветлителях со взвешенным слоем осадка и фильтрование на фильтрах с антрацитовой крошкой; к фильтрованной воде добавляется серная кислота для дополнительного снижения щелочности и производится ее глубокое умягчение двухступенчатым Na-катионированием.

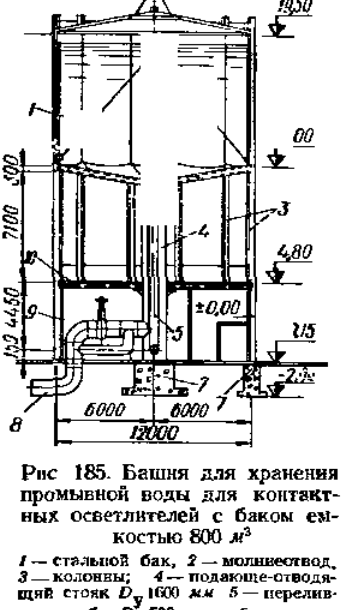


Рис 185. Башня для хранения промывной воды для контактных осветлителей с баком емкостью 800 *м³*

1 — стальной бак, *2* — молниеотвод, *3* — колонны; *4* — подающе-отводящий стояк D_y 1600 *мм* *5* — переливная труба D_y 500 *мм* *6* — мастерские; *7* — фундаменты под колонны и стояк, *8*—подающе-отводящий трубопровод *D*=1000 *мм*, *9* — стены из стеклоблоков; *10* — железобетонные плиты покрытия

В здании станции размещены (рис 187) баки для мокрого хранения коагулянта и поваренной соли, склад фильтрующих материалов, известегасильное оборудование, мешалки для приготовления известкового молока, оборудование кислотного хозяйства, дозировочные и перекачивающие насосы для реагентов, насосы для воды, осветлительные напорные фильтры с антрацитовой крошкой, напорные Na-катионитовые фильтры первой и второй ступеней. Снаружи здания установлены два осветлителя и баки для воды, прошедшей через осветлители и умягченной воды; они покрыты слоем теплоизоляции. Нижняя часть осветлителей и бункера для хранения коагулянта находятся в помещениях, сообщающихся с зданием станции. Промывка осветлительных фильтров производится с применением промывных насосов. В здании станции размещены также ряд служебных помещений.

Пример 6. Станция обезжелезивания подземных вод производительностью 20000 *м³/сутки*.

Технологической схемой обезжелезивания предусматривается аэрирование воды на вентиляторной градирне с последующим фильтрованием ее через открытые скорые фильтры. Как уже отме-

чалось (см. стр. 315), в ряде случаев необходимое для обезжелезивания воды аэрирование может быть достигнуто изливом ее на фильтры с высоты 0,5—0,6 *м*.

В здании станции (рис. 188) расположены шесть скорых фильтров, насосная второго подъема, хлораторная, трансформаторная

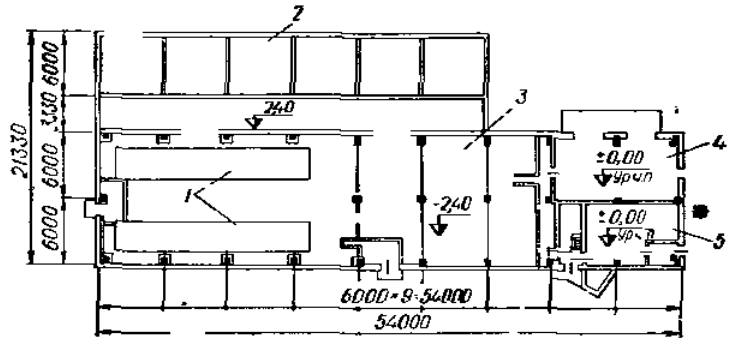


Рис 186 Станция умягчения подземных вод с Na катионитовыми фильтрами производительностью 8000—20 000 *м³/сутки*

1 — открытые Na катионитовые фильтры, *2* — баки мокрого хранения соли; *3* — насосный зал *4* — трансформаторная, *5* — котельная

подстанция, котельная, служебные помещения Две вентиляторные градирни и находящиеся под ними контактные резервуары расположены вне стан ии. Промывка фильтров осуществляется при помощи промывны асосов

Пример 7 Установка для обесфторивания подземных вод с содержанием фтора до 5 *мг/л* производительностью 5000—8000 *м³/сутки* (типовой проект, разработанный институтом Союзводоканалпроект).

Технологической схемой предусмотрено проводить обесфторивание воды путем фильтрации ее через активированную окись алюминия с последующей регенерацией этого со ента раствором сернокислого алюминия К обесфторенной воде со средним содержанием фтор иона 0,35 *мг/л* добавляется часть исходной воды для получения концентрации около 1 *мг/л*. Количество добавляемой воды при наличии в ней 5 *мг/л* фтор-иона и производительности стан ции 5000 *м³/сутки* составляет 700 *м³/сутки*, а при 8000 *м³/сутки* оно равно 1120 *м³/сутки*

В здании установки расположены (рис. 189) шесть железобетонных фильтров с сор м, нас ая второго подъема и собственных нужд, скла сорб а, хлор орная, котельная и служебные помещения. К зданию установки примыкают подземный резервуар воды для взрыхления сорбента, два расходных бака с 1,5%-ным регенерационным раствором сернокислого алюминия, бака для мокрого хранения 17%-ного раствора сернокислого алюминия и два растворных бака для приготовления 17%-ного раствора. Вне здания на площадке установки имеются также два резервуара с от-

мывочной водой, два резервуара с обесфторенной водой и расходный склад хлора.

Фильтры установки — железобетонные прямоугольные резервуары с центральным каналом, высота каждого из них 6 *м*, площадь 13,3 *м*².

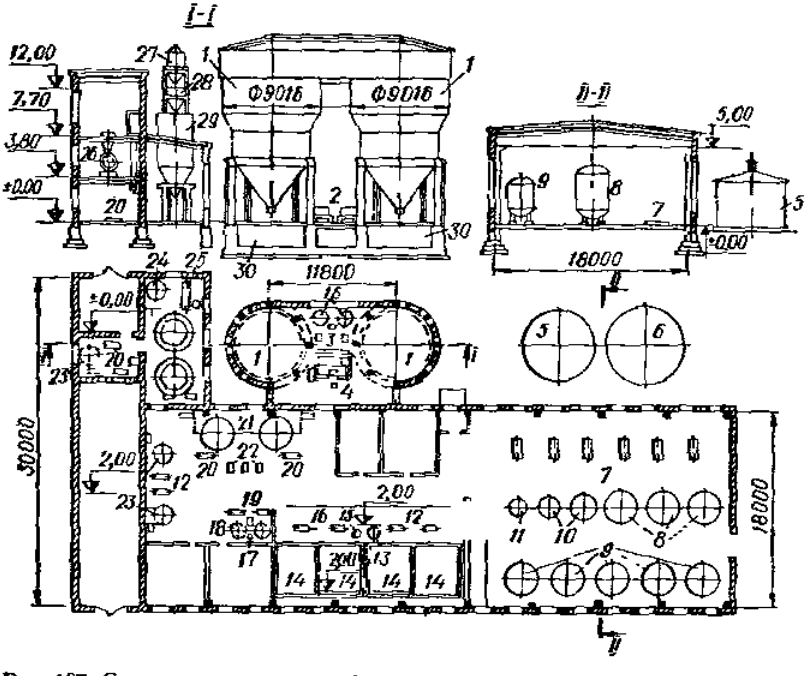


Рис. 187 Станция умягчения и обескремнивания воды производительностью 4 800 *м*³/*сутки*

1 — осветлители, *2* — расходный бак раствора коагулянта, *3* — насос-дозатор коагулянта, *4* — насосы для шламовых вод, *5* — бак для осветленной воды *6* — бак для умягченной воды, *7* — насосы для перекачки осветленной, умягченной и промывной воды *8* — Na-катионитовые фильтры первой ступ *9* — механические фильтры *10* — Na-катионитовые фильтры второй ступени, *11* — ме раствора соли *12* — насосы для раствора соли, *13* — Фильтр для ра ягента *16* — насос для раст коагулянта; *17* — мерник крепкой серной ки к для раствора серной ки ы, *19* — насос-дозатор раст ра серной кислоты, *20* — насосы для известкового молока, *21* — циркуляц нак смазка известкового молока, *22* — насос-дозатор известкового молока, *23* — гидравлические мешалки известкового молока *24* — фильтр для задержания магнезитовой пыли *25* — вакуум насос; *26* — известегасительный аппарат, *27* — приемник магнезита, *28* — промежуточный бункер для магнезита, *29* — бункер для крамняния магнезита; *30* — бак для шламовых вод.

Они имеют дренаж большого сопротивления из стальных перфорированных труб, расчет их производится по расходу отмывочной воды; слой сорбента, крупностью 1—3 *мм*, составляет 2,5 *м* Сбор взрыхляющей и отмывочной во ы производится желоб ами. При производительности уста зки 8000 *м*³/*сутки* устанавливают 5 фильтров рабочих и 1 резе ный ($V_р$=5,4 *м*/*ч*), для установки производительности 5000 *м*³/*сутки*, соответственно 4 и 1 ($V_р$=4,5 *м*/*ч*)

При рабочей емкости сорбента по фтору 1000 *г/м*³ примерно один фильтр в сутки подвергается регенерации 1,5%-ным раствором сернокислого алюминия при скорости фильтрации 2,5 *м/ч*. Расход регенерирующего реагента принят 50 *г* на 1 *г* поглощенного сорбентом фтора. При этом на регенерацию одного фильтра расхо-

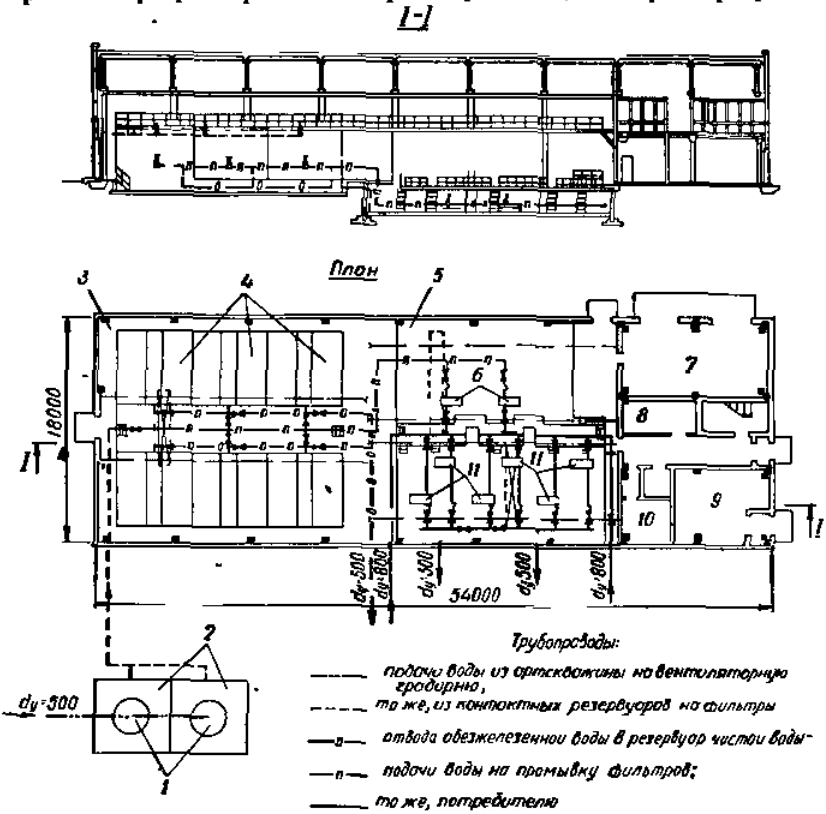


Рис. 188. Типовая установка для обезжелезивания подземных вод производительностью 20 000 *м*³/*сутки*.

1 — вентиляторная градирня, *2* — контактные резервуары, *3* — фильтровальный зал; *4* — скорые фильтры, *5* — насосная станция, *6* — промывные насосы, *7* — трансформаторная подстанция, *8* — мастерская, *9* — котельная *10* — хлораторная, *11* — хозяйственно пожарные насосы

дуется сернокислого алюминия 3,4 *т*. Перед регенерацией слой сорбента на фильтре взрыхляется восходящим потоком воды в течение 20 *мин*. После регенерации его отмывают аналогичным способом, расходуя 10 *м*³ воды на 1 *м*³ сорбента. Интенсивность подачи воды на взрыхление и отмывку принята в проекте 5 *л/сек·м*². Первые порции отмывочной воды сбрасываются в канализацию, конечные собираются в резервуар воды для взрыхления. Полное время, затрачиваемое на взрыхление, регенерацию и отмывку сорбента на одном фильтре, составляет примерно 5 *ч*.

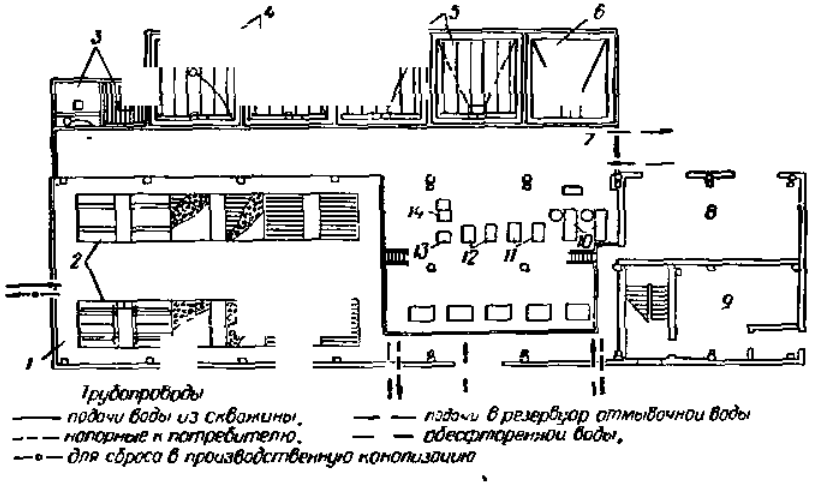


Рис. 189 Типовой проект установки для обесфторирования подземных вод производительностью 5000—8000 *м³/сутки*

1 — фильтровальный зал; *2* — фильтры с активированной окисью алюминия, *3*, *4* — баки для приготовления и хране 17% ного раствора сернокислого алюминия, *5* — расходные баки 1,5%-ного раство сернокислого алюминия, *6* — резервуар для воды, предназначенной для взрыхления бента; *7* — помещение для насосов, *8* — помещение трансформаторной; *9* — котельная *10* — воздуходувки, *11* — насосы для подачи воды на взрыхление и отмывку фильтров, *12* — насосы для подачи регенерационного раствора на фильтры; *13* — насос для перекачивания раствора из бака *4* в бак *5*, *14* — то же из бака *3* в бак *4*

Склад сорбента, находящийся на втором этаже здания (над котельной), вмещает запас для загрузки одного фильтра — 34 *м³*. Баки для мокрого хранения сернокислого алюминия рассчитаны на 20-суточный запас. Для перемешивания в баки для сернокислого алюминия подведен воздух. Интенсивность его подачи в растворные баки составляет 9 *л/сек·м²*, а в баки для 1,5- и 17%-ного раствора — 4 *л/сек·м²*.