

8. Водоподготовка

8.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Изучение качества воды природного источника позволяет установить характер необходимых операций по ее обработке. В некоторых случаях на очистные сооружения возлагается задача устранения какого-либо определенного недостатка природной воды или целого комплекса недостатков, а иногда — задача искусственного придания воде новых свойств, требуемых потребителем.

Все разнообразные задачи, возлагаемые на очистные сооружения, могут быть сведены к следующим основным группам:

1. удаление из воды содержащихся в ней взвешенных веществ (нерастворимых примесей), что обуславливает снижение ее мутности; этот процесс носит название осветления воды;

2. устранение веществ, обуславливающих цветность воды, — обесцвечивание воды;

3. уничтожение содержащихся в воде бактерий (в том числе болезнетворных) — обеззараживание воды;

4. удаление из воды катионов кальция и магния — умягчение воды; снижение общего солесодержания в воде — обессоливание воды; частичное обессоливание воды до остаточной концентрации солей не более 1000 мг/л носит название опреснения воды.

В некоторых случаях может производиться удаление отдельных видов солей (обескремнивание, обезжелезивание и т. п.).

На очистные сооружения могут быть возложены также отдельные специальные задачи — удаление растворенных в воде газов (дегазация), устранение запахов и привкусов природной воды и др.

В некоторых случаях (в соответствии с требованиями производственных потребителей, условиями эксплуатации водопроводов или для успешного проведения операций по самой очистке воды) необходима специальная обработка воды для достижения требуемого значения рН, придания воде свойств стабильности и т. п.

Степень необходимой глубины осветления, обесцвечивания, обессоливания воды зависит от характера ее использования.

Часть операций по обработке воды может быть отнесена к процессам собственно очистки воды: устранение мутности, цветности, удаление планктона, бактерий и избыточного количества растворенных солей. Но такие операции, как стабилизация воды, поддержание требуемого значения рН и т. п., имеющие целью придание воде свойств, необходимых для предотвращения коррозии трубопроводов, успешного протекания коагулирования воды и т. п., уже не могут быть отнесены к процессам очистки воды. Таким образом, понятие «обработка» воды является более общим, чем понятие «очистка» воды. Очистка воды — это частный случай ее обработки.

Как было сказано, для отдельных видов потребителей очистные сооружения должны решать комплексно несколько из указанных задач. Например, в хозяйственно-питьевых водопроводах, использующих речную воду, на очистные сооружения возложены задачи осветления, обесцвечивания, устранения запахов и привкусов воды, а иногда одновременно и ее умягчения.

Решение всех поставленных перед очистными сооружениями задач может проводиться путем использования различных технологических приемов. Так, осветление воды может быть достигнуто путем отстаивания и фильтрования ее. Причем отстаивание может быть простым механическим, когда очищаемая вода проходит через специальные бассейны (отстойники) с весьма малой скоростью. Время осаждения взвешенных частиц зависит от их размеров. Чем мельче частицы, тем больше времени потребуется для их осаждения. При этом коллоидные частицы могут находиться во взвешенном состоянии неопределенно долгое время. Для их осаждения, а также вообще для ускорения процесса осаждения взвеси применяют коагулирование. В воду, подлежащую осветлению, вводят химические реагенты (коагулянты), способствующие связыванию частиц, обуславливающих мутность, в крупные хлопья, что ускоряет их выпадение в отстойниках.

В ряде случаев воду для глубокого осветления после отстойников направляют на фильтры, где она дополнительно осветляется, проходя через слои фильтрующего материала. Такая двухступенчатая система осветления широко применяется при очистке речной воды, используемой для питьевого водоснабжения.

Для задержания находящихся в воде взвешенных веществ применяют также специальный метод осветления, при котором вода после коагулирования пропускается через слой взвешенных хлопьев (выпадающих в результате в осадок). Коагулирование одновременно способствует повышению эффективности процесса фильтрования воды.

Коагулирование воды с последующим ее отстаиванием и фильтрованием позволяет осуществить также и обесцвечивание воды.

Для некоторых производств, не требующих прозрачной воды, оказывается достаточным освобождение ее лишь от наиболее крупных взвешенных частиц, а также плавающих предметов. В этих случаях применяют грубую механическую очистку воды — процеживание, большей частью осуществляемое в водоприемных сооружениях, где для этой цели устанавливаются решетки и сетки.

Попутно с осветлением вода при коагулировании и фильтровании в значительной степени освобождается от бактерий, благодаря чему повышается ее качество с санитарной точки зрения.

Специальной операцией по уничтожению содержащихся в воде бактерий, в частности болезнетворных, является обеззараживание (дезинфекция) воды. Для обеззараживания применяют хлорирование или озонирование, а также бактерицидное облучение воды. Для улучшения качества воды применяют также и другие операции: умягчение, обессоливание, дегазацию и др.

8.2. Осветление и обесцвечивание ВОДЫ

8.2.1. Общие сведения

Воды источников водоснабжения подразделяются:

- в зависимости от расчетной максимальной мутности (ориентировочно количество взвешенных веществ) на:
 - маломутные - до 50 мг/л;
 - средней мутности - св. 50 до 250 мг/л;
 - мутные - св. 250 до 1500 мг/л;
 - высокомутные - св. 1500 мг/л.
- в зависимости от расчетного максимального содержания гумусовых веществ, обуславливающих цветность воды, на:
 - малоцветные - до 35 °;
 - средней цветности - св. 35 до 120 °;
 - высокой цветности - св. 120 °.

Расчетные максимальные значения мутности и цветности для проектирования сооружений станций водоподготовки следует определять по данным анализов воды за период не менее, чем за последние три года до выбора источника водоснабжения.

Метод обработки воды, состав и расчетные параметры сооружений водоподготовки и расчетные дозы реагентов следует устанавливать в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, назначения водопровода, производительности станции и местных условий на основании данных технологических изысканий и опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Для подготовки воды питьевого качества рекомендуются только те методы, по которым получены положительные гигиенические заключения.

Для предварительного выбора можно воспользоваться следующими данными.

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/л		Цветность, °		
	Исходная вода	Очищенная вода	Исходная вода	Очищенная вода	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов					
1 Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование):					
а) напорные	До 30	До 1,5	До 50	До 20	До 5000
б) открытые	До 20	До 1,5	До 50	До 20	До 50000
2 Вертикальные отстойники - скорые фильтры	До 1500	До 1,5	До 120	До 20	До 5000
3 Горизонтальные отстойники - скорые фильтры	До 1500	До 1,5	До 120	До 20	Св. 30000

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/л		Цветность, °		
	Исходная вода	Очищенная вода	Исходная вода	Очищенная вода	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов					
4 Контактные префильтры - скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	До 300	До 1,5	До 120	До 20	Любая
5 Осветлители со взвешенным осадком - скорые фильтры	Не менее 50 до 1500	До 1,5	До 120	До 20	Св. 5000
6 Две ступени отстойников - скорые фильтры	Более 1500	До 1,5	До 120	До 20	Любая

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/л		Цветность, °		
	Исходная вода	Очищенная вода	Исходная вода	Очищенная вода	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов					
7 Контактные осветлители	До 70	До 1,5	До 70	До 20	Любая
8 Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком для частичного осветления воды	До 1500	8-15	До 120	До 40	Любая
9 Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	До 80	До 10	До 120	До 30	Любая

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/л		Цветность, °		
	Исходная вода	Очищенная вода	Исходная вода	Очищенная вода	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов					
10 Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	Св. 1500	До 250	До 120	До 20	Любая
11 Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления	До 1000	До 1,5	До 120	До 20	До 800

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/л		Цветность, °		
	Исходная вода	Очищенная вода	Исходная вода	Очищенная вода	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов					
12 Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	До 150	30-50 % исходной	До 120	Такая же, как исходная	Любая
13 Радиальные отстойники для частичного осветления воды	Более 1500	30-50 % исходной	До 120	То же	»

Основные сооружения	Условия применения				Производительность станции, м ³ /сут
	Мутность, мг/л		Цветность, °		
	Исходная вода	Очищенная вода	Исходная вода	Очищенная вода	

Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов

14 Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка	До 1500	1,5	До 50	До 20	Любая
---	---------	-----	-------	-------	-------

Примечания

1 Мутность указана суммарная, включая образующуюся от введения реагентов.

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

3 При обосновании для обработки воды допускается применять сооружения, не указанные в таблице (плавучие водозаборы-осветлители, гидроциклоны, флотационные установки и др.).

Осветлители со взвешенным осадком следует применять при равномерной подаче воды на сооружения или постепенном изменении расхода воды в пределах не более 15 % в 1 ч и колебании температуры воды не более ±1°С в 1 ч.

8.2.2. Осветление воды отстаиванием

Вертикальные отстойники

Площадь зоны осаждения F , определяется для вертикального отстойника без установки в нем тонкослойных блоков исходя из скорости выпадения взвеси, задерживаемой отстойниками для двух периодов:

- минимальной мутности при минимальном зимнем расходе воды;
- наибольшей мутности при наибольшем расходе воды, соответствующем этому периоду.

Расчетная площадь зоны осаждения должна соответствовать наибольшему значению

$$F = \frac{\beta q}{3,6vN_p},$$

β - коэффициент, учитывающий объемное использование отстойника, величина которого принимается 1,3-1,5 (нижний предел - при отношении диаметра к высоте отстойника - 1, верхний - при отношении диаметра к высоте - 1,5); q - расчетный расход для периодов максимального и минимального суточного водопотребления, м³/ч; v - расчетная скорость восходящего потока, мм/с, принимается, при отсутствии данных технологических изысканий, не более скоростей выпадения взвеси; N_p - количество рабочих отстойников.

При количестве отстойников менее шести следует предусматривать один резервный.

Характеристика обрабатываемой воды и способ обработки	Скорость выпадения взвеси u_{ρ} , задерживаемой отстойниками, мм/с
Маломутные цветные воды, обрабатываемые коагулянтом	0,35-0,45
Воды средней мутности, обрабатываемые коагулянтом	0,45-0,5
Мутные воды, обрабатываемые коагулянтом	0,5-0,6
Мутные воды, обрабатываемые флокулянтом	0,2-0,3
Мутные воды, не обрабатываемые коагулянтом	0,08-0,15
<p>Примечания</p> <p>1 В случае применения флокулянтов при коагулировании воды скорости выпадения взвеси следует увеличивать на 15—20 %.</p> <p>2 Нижние пределы u_{ρ} указаны для хозяйственно-питьевых водопроводов.</p>	

При установке в зоне осаждения тонкослойных блоков площадь зоны осаждения определяется исходя из удельных нагрузок, отнесенных к площади зеркала воды, занятой тонкослойными блоками: для маломутных и цветных вод, обработанных коагулянтom, $3-3,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$; для средней мутности $3,6-4,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$; для мутных вод $4,6-5,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.

Зона накопления и уплотнения осадка вертикальных отстойников должна предусматриваться с наклонными стенками. Угол между наклонными стенками следует принимать $70-80^\circ$.

Сброс осадка следует предусматривать без исключения отстойника.

Период работы, T_p , ч, между сбросами осадка следует определять по формуле

$$M_{\text{осв}} = W_{\text{ос.ч}} N_p \delta / Q (C_v - C_{\text{в}}),$$

$W_{\text{ос.ч}}$ — объем зоны накопления и уплотнения осадка, м^3 ;
 δ — средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы в осадке, $\text{г}/\text{м}^3$ в зависимости от мутности воды и продолжительности интервалов между сбросами;
 $M_{\text{осв}}$ — мутность воды, выходящей из отстойника, $\text{г}/\text{м}^3$, принимаемая от 8 до 15 $\text{г}/\text{м}^3$; C_v — концентрация взвешенных веществ в воде, $\text{г}/\text{м}^3$.

Концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник, определяется по формуле

$$C_B = M + K_K D_K + 0,25Ц + B_H,$$

M — количество взвешенных веществ в исходной воде, г/м³ (принимается равным мутности воды); D_K — доза коагулянта по безводному продукту, г/м³; K_K — коэффициент, принимаемый для очищенного сернокислого алюминия — 0,5, для нефелинового коагулянта — 1,2, для хлорного железа — 0,7; $Ц$ — цветность исходной воды, град; B_H — количество нерастворимых веществ, вводимых с известью, г/м³, которое определяется по формуле

$$B_H = D_H / K_H - D_H,$$

K_H — доленое содержание СаО в извести,

D_H — доза извести по СаО, г/м³.

Период работы между сбросами осадка должен быть не менее 6 ч.

Сбор осветленной воды в вертикальных отстойниках следует предусматривать периферийными и радиальными желобами с отверстиями или с треугольными вырезами. Сечения желобов следует рассчитывать на скорость движения воды 0,5—0,6 м/с.

Горизонтальные отстойники

Горизонтальные отстойники следует проектировать с рассредоточенным по площади сбором воды. Расчет отстойников следует производить для двух периодов аналогично вертикальным отстойникам. Площадь горизонтальных отстойников в плане

$$F_{г.о} = \alpha_{об} q / 3,6 u_0,$$

q — расчетный расход воды, м³/ч; u_0 — скорость выпадения взвеси, мм/с;

$\alpha_{об}$ — коэффициент объемного использования отстойников, принимаемый равным 1,3.

При установке в зоне осаждения тонкослойных блоков площадь зоны осаждения определяется исходя из удельных нагрузок, отнесенных к площади зеркала воды, занятой тонкослойными блоками: для маломутных и цветных вод, обработанных коагулянтном, 3-3,5 м³/(ч · м²); для средней мутности 3,6-4,5 м³/(ч · м²); для мутных вод 4,6-5,5 м³/(ч · м²). Блоки следует предусматривать на всей длине отстойника.

Длину отстойников L , м, следует определять исходя из скорости выпадения взвеси с учетом следующих параметров:

- средняя высота зоны осаждения, м, принимаемая равной 3-3,5 м в зависимости от высотной схемы станции;
- расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника, принимаемая равной 6-8, 7-10 и 9-12 мм/с соответственно для вод маломутных, средней мутности и мутных:

$$L = H_{\text{cp}} v_{\text{cp}} / u_0,$$

Отстойник должен быть разделен продольными перегородками на самостоятельные действующие коридоры шириной не более 6 м.

При количестве коридоров менее шести следует предусматривать один резервный.

Горизонтальные отстойники следует проектировать с механическим или гидравлическим удалением осадка (без исключения подачи воды в отстойник) или предусматривать в них гидравлическую систему смыва осадка с периодическим отключением подачи воды в отстойник в случае осветления мутных вод с образованием малоподвижных осадков. Для обмыва стен и днища отстойников следует предусматривать трубопровод с вентилями для присоединения шлангов.

Для отстойников с механизированным удалением осадка скребковыми механизмами объем зоны накопления и уплотнения осадка надлежит определять в зависимости от размеров скребков, сгребающих осадок в приямок.

При гидравлическом удалении или напорном смыве осадка объем зоны накопления и уплотнения осадка определяется аналогично вертикальным отстойникам при продолжительности работы отстойника между чистками не менее 12 ч.

Мутность исходной воды, мг/л	Применяемые реагенты	Средняя по высоте осадочной части отстойника концентрация твердой фазы в осадке, г/м ³ , при интервалах между сбросами осадка, ч		
		6	12	24 и более
До 50	Коагулянт	9 000	12 000	15 000
Св.50 до 100	Коагулянт	12 000	16 000	20 000
Св.100 до 400	Коагулянт	20 000	32 000	40 000
Св.400 до 1000	Коагулянт	35 000	50 000	60 000
Св.1000 до 1500	Коагулянт	80 000	100 000	120 000
Св.1500	Флокулянт	90 000	140 000	160 000
Св.1500	Без реагентов	200 000	250 000	300 000

Примечание - При обработке исходной воды коагулянтами совместно с флокулянтами среднюю концентрацию твердой фазы в осадке следует принимать на 25 % больше для маломутных цветных вод и на 15 % - для вод средней мутности.

Для гидравлического удаления осадка следует предусматривать сборную систему из перфорированных труб, обеспечивающую удаление его в течение 20—30 мин. Дно отстойника между трубами сборной системы осадка надлежит принимать плоским или призматическим с углом наклона граней 45° .

Расстояние между осями труб следует принимать не более 3 м — при призматическом днище и 2 м — при плоском.

Скорость движения осадка в конце труб надлежит принимать не менее 1 м/с; в отверстиях — 1,5—2 м/с; диаметр отверстий — не менее 25 мм, расстояние между отверстиями — 300—500 мм. Отверстия следует располагать в шахматном порядке вниз под углом 45° к оси трубы. Отношение суммарной площади отверстий к площади сечения труб надлежит принимать равным 0,5—0,7.

В начале трубы следует предусматривать отверстие диаметром не менее 15 мм для выпуска воздуха.

Напорные гидравлические системы смыва осадка, включающие телескопические дырчатые трубы с насадками, насосную установку, резервуар промывной воды и емкости для сбора и уплотнения осадка перед подачей его на сооружения обезвоживания, следует проектировать для удаления из отстойников тяжелых, трудноудаляющихся осадков, образующихся при осветлении мутных и высокомутных вод.

Высоту отстойников надлежит определять как сумму высот зоны осаждения и зоны накопления осадка с учетом величины превышения строительной высоты над расчетным уровнем воды не менее 0,3 м.

Количество воды, сбрасываемой из отстойника вместе с осадком, следует определять с учетом коэффициента разбавления, принимаемого:

1,5 — при гидравлическом удалении осадка;

1,2 — при механическом удалении осадка;

2—3 — при напорном смыве осадка.

При гидравлическом удалении осадка продольный уклон дна отстойника следует принимать не менее 0,005.

Сбор осветленной воды следует предусматривать системой горизонтально расположенных дырчатых труб или желобов с затопленными отверстиями или треугольными водосливами, расположенными на участке $2/3$ длины отстойника, считая от задней торцевой стенки, или на всю длину отстойника при оснащении его тонкослойными блоками. Скорость движения осветленной воды в конце желобов и труб следует принимать 0,6—0,8 м/с, в отверстиях — 1 м/с.

Верх желоба с затопленными отверстиями должен быть на 10 см выше максимального уровня воды в отстойнике, заглубление трубы под уровень воды необходимо определять гидравлическим расчетом.

Отверстия в желобе следует располагать на 5—8 см выше дна желоба, в трубах — горизонтально по оси. Диаметр отверстий должен быть не менее 25 мм.

Излив воды из желобов и труб в сборный карман должен быть свободным (незатопленным).

Расстояние между осями желобов или труб должно быть не менее 3 м.

В перекрытии отстойников следует предусматривать люки для спуска в отстойники, отверстия для отбора проб на расстоянии не более 10 м друг от друга и вентиляционные трубы.

Радиальные отстойники

Радиальные отстойники устраивают диаметром 5—60 м и более.

Глубину отстойника у стенки обычно принимают в пределах 1,5— 2,5 м.

Тогда глубина в центральной части

$$H=h+iR,$$

где i — уклон дна отстойника, принимаемый равным 0,04.

В настоящее время радиальные отстойники получили применение и для осветления мутных речных вод (без коагулирования или с коагулированием).

При значительном количестве осадка возможность непрерывного его удаления является большим достоинством радиальных отстойников.

Сооружения для осветления высокомутных вод

Для осветления высокомутных вод следует предусматривать двухступенчатое отстаивание с обработкой воды реагентами перед отстойниками первой и второй ступеней.

В качестве отстойников первой ступени следует предусматривать радиальные отстойники со скребками на вращающихся фермах или горизонтальные отстойники с цепными скребковыми механизмами. Допускается для удаления осадка применение гидравлической системы его смыва. При обосновании допускается использовать для первой ступени осветления плавучий водозабор-осветлитель с тонкослойными элементами без применения реагентов.

Виды и дозы реагентов, вводимых в воду перед отстойниками первой и второй ступеней, надлежит определять на основании технологических исследований.

Камеры хлопьеобразования в горизонтальных отстойниках при осветлении высокомутных вод, как правило, следует проектировать механического типа. Перед радиальными отстойниками камеры хлопьеобразования не предусматриваются. Горизонтальные отстойники следует проектировать обычным образом.

Площадь радиальных отстойников $F_{p.o}$, м², при их использовании для первой ступени отстаивания высокомутных вод следует определять по формуле

q — расчетный расход, м³/ч; u_0 — скорость выпадения взвеси, принимаемая 0,5—0,6 мм/с; f — площадь вихревой зоны радиального отстойника, радиус которой принимается на 1 м больше радиуса распределительного устройства, м².

Низ центрального распределительного устройства делается глухим, верх его должен быть на глубине, равной высоте слоя воды у периферийной стенки; радиус его следует принимать равным 1,5—2,5 м. Площадь отверстий в боковой стенке водораспределительного устройства надлежит определять из расчета скорости движения воды через них 1 м/с при диаметре отверстий 40—50 мм.

Сбор осветленной воды следует предусматривать периферийным желобом с затопленными отверстиями или с треугольными водосливами аналогично горизонтальным отстойникам.

Среднюю концентрацию уплотненного осадка в отстойниках первой ступени следует принимать 150—160 г/л.