

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ
И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта по дисциплине
**«ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»**

Часть 2 «Водоотведение промышленных предприятий»

для студентов специальности

**1 - 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»
специализации**

1 - 70 04 03 01 «Системы водоснабжения и водоотведения»

Брест 2015

УДК 628.543

Методические указания подготовлены для студентов дневной и заочной формы обучения специальности 1 - 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», 1 - 70 04 03 01 «Системы водоснабжения и водоотведения» по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий»

Методические указания содержат краткие теоретические сведения, термины и определения технологических и физико-химических процессов очистки производственных сточных вод, рекомендации по расчету и примеры расчетов типовых сооружений очистки производственных сточных вод.

Издается в 2-х частях. Часть 2.

Составители: Левчук Н.В., доцент, к.т.н.
Новосельцева А.Г., ассистент

Рецензент: Цыпан О.С., начальник отдела экологической экспертизы проектной

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Основные понятия, термины и определения.....	4
1 Проектирование и гидравлический расчет сети х/б канализации.....	5
2 Проектирование и гидравлический расчет системы производственной канализации.....	9
3 Выбор и обоснование методов очистки различных категорий производственных сточных вод.....	10
3.1 Определение необходимой степени очистки сточных вод перед выпуском их в водоем.....	10
3.2 Требования, применяемые к составу ПСВ, сбрасываемых в сеть бытовой канализации.....	11
3.3 Составление технологических схем локальных очистных сооружений.....	11
4. Расчет очистных сооружений.....	12
4.1 Усреднители.....	12
4.2 Сооружения механической очистки сточных вод.....	14
4.2.1 Гидроциклоны. Расчет открытого гидроциклона с диафрагмой.....	14
4.2.2 Расчет вертикального отстойника.....	16
4.2.3 Горизонтальная нефтеловушка.....	17
4.2.4 Расчет тонкослойной нефтеловушки.....	18
4.3 Сооружения физико-химической очистки сточных вод.....	20
4.3.1 Напорная флотация с рециркуляцией сточной воды.....	20
4.4 Сооружения химической очистки сточных вод.....	22
4.4.1 Сооружения коагуляции и флокуляции.....	22
4.4.2 Нейтрализация сточных вод.....	22
4.4.3 Сооружения для очистки сточных вод реагентами-осалителями.....	23
4.5 Сооружения биологической очистки сточных вод.....	24
4.5.1 Преаэраторы.....	24
4.5.2 Капельные биологические фильтры.....	25
4.5.3 Высоконагружаемые биофильтры.....	25
4.5.3.1 Аэрофильтры.....	26
4.5.3.2 Биофильтры с пластмассовой загрузкой.....	26
4.6 Биологическая очистка в системах с активным илом.....	26
4.6.1 Аэротенки - смесители без регенераторов.....	27
4.6.2 Аэротенки - смесители с регенераторами.....	28
4.6.3 Аэротенки - вытеснители без регенераторов.....	29
4.6.4 Аэротенки - вытеснители с регенераторами.....	30
5. Сооружения доочистки сточных вод. Расчет сорбционного фильтра.....	31
6. Сооружения для механического обезвоживания осадков сточных вод.....	32
7. Примеры расчета некоторых сооружений и реагентных хозяйств.....	32
7.1 Расчет вертикального (вихревого) смесителя.....	32
7.2 Реактор.....	34
7.3 Корректор pH.....	35
7.4 Реагентное хозяйство NaOCl.....	35
7.5 Реагентное хозяйство бисульфита натрия.....	36
8. Разработка компоновочного плана зданий локальных очистных сооружений.....	36
Литература.....	37
Приложение 1 (А, Б, В, Г – графическая часть).....	38
Приложение 2 (таблицы).....	43

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Республике Беларусь, при современных масштабах использования в производственных циклах новых технологий, установок и процессов, вопросы охраны окружающей среды, в целом, защиты водных объектов от загрязнения и рационального использования водных ресурсов, требуют внедрения высокоэффективных методов и систем очистки производственных сточных вод.

Именно промышленные предприятия, нарушая установленные санитарно-гигиенические нормативы, а также, выход из строя устаревших систем водоотведения, являются основными источниками загрязнения водных объектов, тяжелыми металлами, биогенными и поверхностно-активными веществами, сбрасывая недостаточно очищенную и (или) неочищенную сточную воду в сеть бытовой канализации и в водоемы.

Тщательное изучение качественного состава, разработка технологической схемы, подбор и расчет сооружений для очистки производственных стоков является основной задачей инженерных кадров специальностей ВК в проектных организациях и на промышленных предприятиях. Решение такой задачи требует от специалистов достаточного уровня знаний по химии, технологии очистки сточных вод, проектированию сетей водоснабжения и водоотведения.

Методические указания по проектированию производственных очистных сооружений предназначены для студентов старших курсов специальностей ВК, содержат основные термины и определения технологических процессов, происходящих на различных этапах очистки, рекомендации по выбору сооружений и примеры расчетов сооружений. Представленные расчеты и методики выполнены на основе нормативных требований.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Сточные воды, отводимые с территории промышленных предприятий, по своему составу могут быть разделены на три вида: 1) производственные, 2) бытовые и 3) атмосферные.

Производственные сточные воды (ПСВ), их качественный состав, концентрации загрязняющих веществ зависят от вида промышленного производства и исходного сырья, а также режима технологических процессов.

ПСВ, в зависимости от технологического процесса их образования, могут подразделяться на три группы: 1) загрязненные минеральными примесями, 2) загрязненные преимущественно органическими примесями, 3) загрязненные минеральными и органическими примесями.

Бытовые сточные воды отводятся от санитарных узлов и душевых установок производственных и непромышленных корпусов предприятия.

Атмосферные сточные воды или поверхностный сток образуются в результате выпадения атмосферных осадков и таяния снега. Поверхностный сток с территорий промпредприятий, на которых возможно образование специфических загрязнений, складских хозяйств, автохозяйств, должен подвергаться очистке на самостоятельных (локальных) сооружениях перед сбросом в водный объект, либо в городские водостоки.

Адсорбция – вещество поглощается всем объемом поглотителя.

Адсорбция – накопление вещества на поверхности поглотителя.

Адсорбент – вещество, на поверхности которого идет адсорбция.

Адсорбтив – вещество, которое адсорбируется.

Десорбция – процесс, обратный сорбции

Дисперсные системы – это системы, состоящие из частиц одного или нескольких веществ, находящихся в однородной среде другого вещества. Грубодисперсные системы – это системы с размерами частиц от 10^{-5} до 10^{-2} см. В сточной воде это грубодисперсные примеси (ГДП) Коллоидные системы – это системы с размерами частиц от 10^{-7} до 10^{-5} . Если размеры частиц менее чем 10^{-7} , то такие системы называют растворами.

Ионный обмен – процесс, при котором определенные ионы или катионы в воде замещаются другими ионами при прохождении через слой ионообменного материала.

Коагуляция – процесс укрупнения частиц коллоидных систем в более крупные агрегаты и выпадение их в осадок.

Поверхностные явления – физико-химические явления, которые протекают на поверхности раздела фаз и обусловлены особыми свойствами поверхностных слоев жидкостей и твердых тел.

Сорбция – процесс самопроизвольного поглощения веществом других веществ. Физическая сорбция обусловлена физическими силами межмолекулярного взаимодействия, хемосорбция – химическое взаимодействие поглощаемого вещества и поглотителя.

Седиментация – осаждение частиц грубодисперсных и коллоидных систем под действием силы тяжести.

Флокулы – частицы дисперсной фазы, способные к слиянию (коалесценции), всплывающие на поверхность.

Флотация – процесс, основанный на формировании флокул загрязнений с диспергированной газовой фазой и последующим их отделением в виде флотошлама.

Фильтрация – физический метод, при котором вода проходит через пористые преграды.

Экстракция – способность веществ (фенолов, жирных кислот и др.) растворяться в иной жидкости, не растворимой в очищаемой воде. Загрязняющие вещества растворяются в этой жидкости, а концентрация их в сточной воде будет уменьшаться. Затем эту жидкость удаляют из сточной воды.

Эвапорация – способ очистки, при котором через нагретые сточные воды пропускается насыщенный водяной пар, который увлекает летучие примеси. Далее пар проходит через нагретый поглотитель, в котором из пара удаляются захваченные примеси (регенерация пара)

Электрофорез – перемещение твердых частиц относительно жидкой фазы.

Электроосмос – перемещение жидкой среды относительно твердой фазы в электрическом поле.

Электродиализ – процесс, в котором при воздействии электрического поля ионы отщепляются от одной водной массы и переносятся в другую, через ионообменную мембрану.

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕТИ Х/Б КАНАЛИЗАЦИИ

Сеть бытовой канализации предназначена для отвода бытовых сточных вод в городской коллектор. Проектирование сети водоотведения промышленного предприятия выполняется в следующем порядке:

1) на генплане указываются места выпуска х/б сточных вод из производственных, административно-бытовых, вспомогательных помещений и трассировка сетей канализации;

2) строится балансовая схема водоснабжения и водоотведения предприятия;

3) составляется расчетная схема сети, определяются расчетные расходы на расчетных участках (рисунок 1).

4) выполняется гидравлический расчет внутриплощадочного коллектора х/б канализации (таблица 1)

5) строится его профиль до точки выпуска в городской коллектор [1].

При построении профиля следует произвести «увязку» с внеплощадочным городским коллектором, обратив внимание на глубину заложения внутриплощадочного и городского коллектора в точке их соединения. При необходимости предусмотреть подкачивающую насосную станцию.

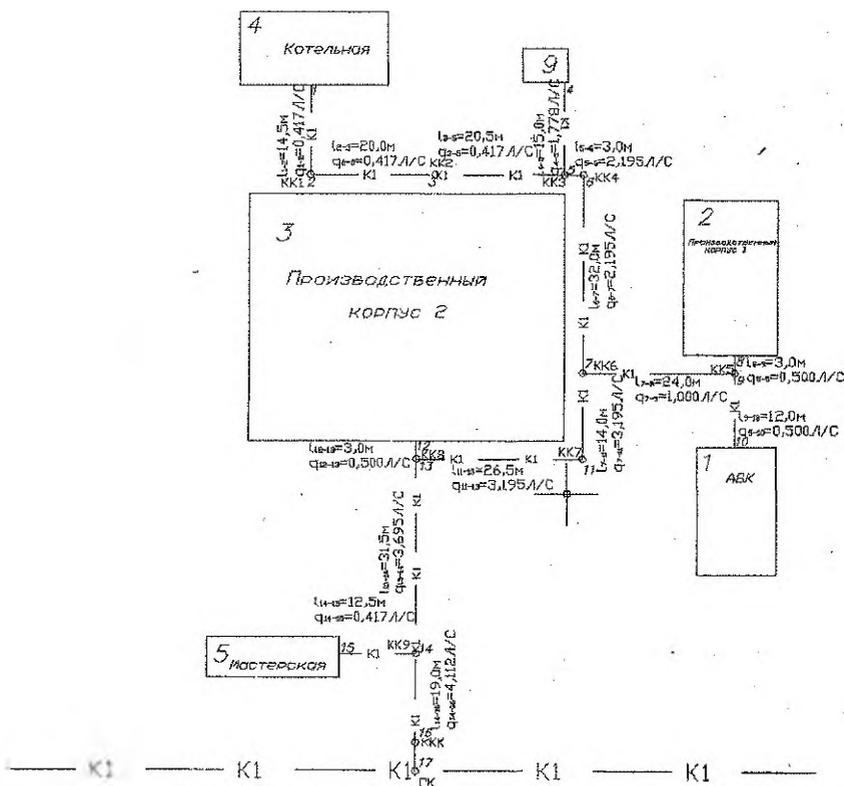


Рисунок 1 – Расчетная схема сети х/б канализации

Таблица – 1 Гидравлический расчет хозяйственно-бытовой канализационной сети

№участка	Длина, м	расчетный расход, л/с	уклон, i	диаметр, мм	Скорость, м/с	наполнение		падение уклона, м	Отметки, м						Глубина заложения, м	
						h/D	h, м		поверхности земли		поверхности воды или шельфы		поверхности лотка			
									н	к	н	к	н	к	н	к
						1	2		3	4	5	6	7	8	9	10
Главный коллектор																
1-2	14,5	0,417	0,008	150	0,34	0,12	0,018	0,12	74,260	74,020	73,31	73,19	73,29	73,17	0,97	0,85
2-3	20,0	0,417	0,008	150	0,34	0,12	0,018	0,16	74,020	74,020	73,19	73,03	73,17	73,01	0,85	1,01
3-5	20,5	0,417	0,008	150	0,34	0,12	0,018	0,16	74,020	74,020	73,03	72,87	73,01	72,85	1,01	1,17
5-6	3,0	2,195	0,008	150	0,54	0,28	0,042	0,02	74,020	74,020	72,87	72,85	72,83	72,81	1,19	1,21
6-10	32,0	2,195	0,008	150	0,54	0,28	0,042	0,26	74,020	73,520	72,85	72,59	72,81	72,55	1,21	0,97
10-11	14,0	3,195	0,008	150	0,6	0,34	0,051	0,11	73,520	73,340	72,37	72,26	72,32	72,21	1,20	1,13
11-13	26,5	3,195	0,008	150	0,6	0,34	0,051	0,21	73,340	73,340	72,26	72,05	72,21	72,00	1,13	1,34
13-15	31,5	3,695	0,008	150	0,62	0,37	0,056	0,25	73,340	73,00	72,05	71,80	71,99	71,74	1,35	1,26
15-16	14,0	4,112	0,008	150	0,64	0,39	0,059	0,11	73,00	73,00	71,80	71,69	71,74	71,63	1,26	1,37
16-17	5,0	4,112	0,008	150	0,64	0,39	0,059	0,04	73,00	73,00	70,10	70,06	70,04	70,0	2,96	3,0
Боковые участки																
4-5	15,0	1,778	0,008	150	0,51	0,25	0,038	0,12	74,320	74,020	73,33	73,21	73,29	73,17	1,03	0,85
7-8	3,0	0,50	0,008	150	0,35	0,14	0,021	0,02	73,540	73,520	72,71	72,69	72,69	72,67	0,85	0,85
9-8	12,0	0,50	0,008	150	0,35	0,14	0,021	0,10	73,460	73,520	72,63	72,53	72,61	72,51	0,85	1,01
8-10	24,0	1,0	0,008	150	0,43	0,19	0,029	0,19	73,520	73,520	72,54	72,35	72,51	72,32	1,01	1,2
12-13	3,0	0,50	0,008	150	0,35	0,14	0,021	0,02	73,360	73,340	72,53	72,51	72,51	72,49	0,85	0,85
14-15	12,5	0,417	0,008	150	0,34	0,12	0,018	0,10	73,00	73,00	72,17	72,07	72,15	72,05	0,85	0,95

Таблица – 2 Гидравлический расчет производственной канализационной сети

№ участка	Длина, м	расчетный расход, л/с	уклон, i	диаметр, мм	Скорость, м/с	наполнение		падение уклона, м	Отметки, м						Глубина заложения, м	
						h/D	h, м		поверхности земли		поверхности воды или шельги		поверхности лотка		h	к
									н	к	н	к	н	к		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Главный коллектор																
1-2	3,0	0,39	0,008	150	0,32	0,12	0,018	0,02	74,64	74,64	73,81	73,79	73,79	73,77	0,85	0,87
2-3	10,0	0,39	0,008	150	0,32	0,12	0,018	0,08	74,64	74,59	73,79	73,71	73,77	73,69	0,87	0,90
3-4	17,2	0,78	0,008	150	0,40	0,17	0,026	0,14	74,59	74,39	73,71	73,57	73,68	73,54	0,91	0,85
4-5	17,5	0,78	0,008	150	0,40	0,17	0,026	0,14	74,39	74,39	73,57	73,43	73,54	73,40	0,85	0,99
6-7	3,0	7,92	0,008	150	0,76	0,57	0,086	0,02	73,83	73,83	73,07	73,05	72,98	72,96	0,85	0,87
5-7	35,0	0,78	0,008	150	0,40	0,17	0,026	0,28	74,39	73,83	73,27	72,99	73,24	72,96	1,15	0,87
7-8	35,0	8,70	0,008	150	0,78	0,60	0,090	0,28	73,83	73,43	72,63	72,35	72,54	72,26	1,29	1,17
8-9	17,0	8,70	0,008	150	0,78	0,60	0,090	0,11	73,43	73,0	72,35	72,24	72,26	72,15	1,17	0,85
9-10	7,5	8,70	0,008	150	0,78	0,60	0,090	0,06	73,0	73,0	72,24	72,18	72,15	72,09	0,85	0,91

3. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Расчет сооружений для очистки производственных сточных вод и обработки их осадков следует выполнять на основании данных научно-исследовательских организаций, опыта эксплуатации действующих аналогичных сооружений с учетом требований настоящего технического кодекса и действующих ТНПА.

Выбор технологических схем очистки ПСВ зависит, как правило:

- 1) от требований к качеству степени очистки,
- 2) от необходимости утилизировать содержащиеся в стоке загрязняющие примеси.

3.1 Определения необходимой степени очистки сточных вод перед выпуском их в водоем

Необходимую степень очистки определяют по формуле:

$$\Theta = \frac{C_{исх} - C_{доп}}{C_{исх}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

где $C_{исх}$ – концентрация загрязнений в сточной воде до очистки, мг/л;

$C_{доп}$ – допустимая концентрация загрязнений в сточной воде, сбрасываемой в приемник сточных вод или используемой повторно, мг/л.

При решении вопроса о необходимой степени очистки сточных вод при выпуске их в водоем допустимая концентрация загрязнений должна удовлетворять требованиям «Правила охраны поверхностных вод от загрязнений». Расчеты проводят по общесанитарному, органолептическому и санитарно-токсикологическому показателям вредности с учетом кратности разбавления сточных вод.

Расчет допустимой концентрации загрязнений в ПСВ, сбрасываемых в системы бытовой канализации населенных пунктов:

1) Определяется допустимая концентрация загрязнений в очищенных городских сточных водах, $C_{ст}$:

$$C_{ст} = (n - 1) \cdot (C_N - C_e) + C_N, \text{ мг/л} \quad (3.2)$$

где C_N – предельно-допустимая концентрация (ПДК) загрязняющего вещества в контрольном (расчетном) створе водного объекта соответствующего вида водопользования, мг/л (принимается из приложения 2 таблица 1);

C_e – фактическая концентрация того же вещества в воде водного объекта до сброса в него сточных вод данных очистных сооружений, мг/л;

n – кратность смешения (разбавления) сточных вод с водой водного объекта в расчетном створе (определяется расчетом).

2) Определяется допустимая концентрация загрязнений в смеси производственных и бытовых сточных вод, поступающих на очистные сооружения населенного пункта, $C_{гсв}$:

$$C_{гсв} = \frac{C \cdot 100}{100 - A}, \text{ мг/л} \quad (3.3)$$

где A – эффективность удаления загрязняющих веществ на очистных сооружениях населенного пункта, % (принимается из приложения 2 таблица 1).

Должно выполняться условие:

$$C_{ГСВ} \leq C_{Вос} \quad (3.4)$$

где $C_{Вос}$ – концентрация веществ, максимально допустимая для биохимической очистки сточных вод, мг/л (принимается из приложения 2 таблица 2).

Если в результате расчета окажется, что $C_{ГСВ}$ получилось больше $C_{Вос}$, то следует провести дополнительный расчет $C_{ГСВ}$ по формуле: $C_{ГСВ} = C_{Вос} \cdot \frac{100 - A}{100}, \text{ мг / л.}$ (3.5)

3) Определяется величина допустимой концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в производственных сточных водах:

$$C_{Доп} = \frac{Q}{q} \cdot (C_{ГСВ} - C_{Быт}) + C_{ГСВ}, \text{ мг / л} \quad (3.6)$$

где $C_{Быт}$ – содержание загрязняющего вещества в бытовых сточных водах (при отсутствии данных принимается $C_{Быт}=0$);

Q, q – расходы городских и производственных сточных вод, м³/сут.

Для веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности должно выполняться условие:

$$\frac{C^x}{C_{Доп}^x} + \frac{C^y}{C_{Доп}^y} + \dots + \frac{C^n}{C_{Доп}^n} \leq 1 \quad (3.7)$$

3.2 Требования, предъявляемые к составу ПСВ, перед сбросом в сеть бытовой канализации

Выпускаемые в водоотводящую сеть ПСВ не должны: - превышать расходы СВ и содержание взвешенных, всплывающих веществ, установленные для конкретных промышленных предприятий; нарушать работу сетей и сооружений; содержать вещества, которые способны засорять трубы водоотводящих сетей или отлагаться на стенках труб; оказывать разрушающее действие на материал труб и элементы очистных сооружений; содержать горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные примеси в водоотводящих сетях и очистных сооружениях; содержать вредные вещества в концентрациях, препятствующих биологической очистке СВ или сбросу их в водоем (с учетом эффективности очистки); иметь температуру выше 40° С, иметь значение рН за пределами 6,5 – 9; содержать опасные бактериальные вещества; иметь ХПК, превышающую БПК более чем в 1,5 раза. ПСВ, не удовлетворяющие указанным требованиям, должны подвергаться предварительной очистке.

Определив необходимую степень очистки ПСВ, сбрасываемых в сеть бытовой канализации и в водный объект, устанавливают методы, сооружения технологическую схему очистки ПСВ, которые являются экономически целесообразными.

3.3 Составление технологических схем локальных очистных сооружений

Критерии оценки принимаемой технологии:

– достижение требуемой степени очистки; получение осадков и других отходов в состояниях, удобных для первичной обработки, накопления, транспортировки и хранения,

– компактность, простота и надежность эксплуатации, возможность создания дистанционного управления или автоматизации; сохранение необходимых санитарно-гигиенических условий, экологической безопасности и охраны труда.

В соответствии с необходимой степенью очистки сточных вод и выбранными методами их очистки прежде всего составляется принципиальная схема очистной станции, которая включает основные узлы (сооружения). На принципиальной схеме показывают направление основных материальных потоков – сточных вод, осадков, извлеченных из сточных вод ценных веществ.

В технологической схеме должны быть подробно разработаны все основные и вспомогательные процессы. При выборе типов сооружений следует использовать рекомендации, приведенные в [4, 5].

На технологической схеме указывают сведения о расходах сточной воды по отдельным сооружениям и ее качество до и после сооружений, параметры осадков и реагентов, сущность протекающих процессов и методы их технологического контроля с указанием пунктов контроля.

Примеры технологических схем для разных видов промышленных предприятий и качества образующихся стоков приведены в приложениях А, Б, В, Г.

Эффективность некоторых способов очистки промышленных сточных вод представлена в приложении 2 таблица 3.

4. РАСЧЕТ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

4.1 Усреднители

В связи с неравномерностью поступления ПСВ на очистные сооружения, как правило, перед механической очисткой предусматривают регулирующие емкости - усреднители. Различают усреднители расхода и усреднители концентраций. Расчет и проектирование усреднителей производится согласно [4].

Контактные усреднители применяют при небольших расходах и периодическом сбросе. Многоканальные усреднители применяют при залповом сбросе с концентрацией взвешенных веществ до 500 мг/л. Барботажные и с механическим перемешиванием - при любом сбросе, с концентрацией взвешенных веществ от 500 мг/л и выше.

Алгоритм расчета:

1.Принимается тип усреднителя в зависимости от характера нестационарности по таблице 3.

Таблица 3 – Область применения усреднителей различных типов

Тип усреднителя	Характер нестационарности	Концентрация, мг/л	Гидравлическая крупность, мм/с
Многоканальный	Залповый	~500	~5
Барботажный	Любой	~500	~ 10
С механическим перемешиванием	Любой	> 500	-

2.Рассчитывается требуемый коэффициент усреднения К:

$$K = \frac{C_{\max} - C_{cp}}{C_{\min} - C_{cp}}, \quad (4.1)$$

где S_{\max} – максимальная концентрация загрязнений в залповом сбросе, мг/л; $S_{\text{ср}}$ – средняя концентрация загрязнений в стоке, мг/л; $S_{\text{доп}}$ – концентрация загрязнений в стоке, допустимая по условиям работы последующих сооружений, мг/л.

3. Рассчитывается объем усреднителей W_y , м³:
– при залповом сбросе:

Усреднители барботажные и с механическим перемешиванием	При $K < 5$	$W_y = \frac{1,3 \cdot Q \cdot t_3 \cdot (K - 1)}{\ln K}$
	При $K \geq 5$	$W_y = 1,3 \cdot Q \cdot t_3 \cdot K$
Многоканальные усреднители	При любом K	$W_y = \frac{Q \cdot t_3 \cdot K}{2}$

где Q – расход СВ, м³/час; t_3 – длительность залпового сброса, час; K – коэффициент усреднения.

– при циклических колебаниях:

При $K < 5$	$W_y = 0,21 \cdot Q \cdot t_k \cdot \sqrt{K^2 - 1}$
При $K \geq 5$	$W_y = 1,3 \cdot Q \cdot t_k \cdot K$

где t_k – период цикла колебаний, час.

4. Принимается прямоугольный в плане усреднитель определенного типа, рассчитываются его конструктивные параметры.

4.1.1 Для усреднителя барботажного типа принимается глубина усреднителя H (в пределах 3-6 м), количество секций n (не менее двух), для усреднителя многоканального типа принимается количество секций n (не менее двух) и глубина усреднителя H (в пределах 2 м) и определяется площадь каждой секции усреднителя F :

$$F = \frac{W_y}{n \cdot H}, \text{ м}^2. \quad (4.2)$$

4.2. Назначается ширина секции B и определяется длина усреднителя L :

$$L = \frac{F}{B}, \text{ м}. \quad (4.3)$$

Принимаются размеры сооружения в плане.

Для усреднителя многоканального типа назначается количество каналов в одной секции $n_{\text{кан}}$, которое должно быть не меньше четырех. Находится ширина канала $b_{\text{кан}}$: $b_{\text{кан}} = B/n_{\text{кан}}$ м;

Ширина канала округляется до целого значения и приблизительно должна быть в пределах 1-10 м.

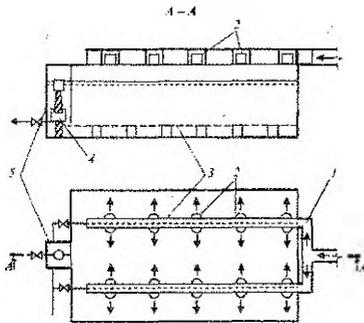
4.3. Для усреднителя барботажного типа определяется скорость продольного движения воды и проектируются трубы-барботеры:

$$v = \frac{q_{\max}}{3600 \cdot B \cdot H \cdot n}, \text{ м/с} \quad (4.4)$$

где q_{\max} – максимальный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

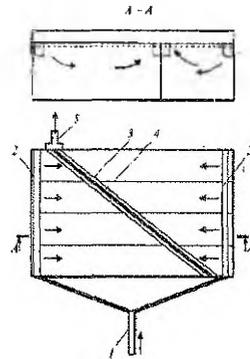
Значение скорости v должно быть не более $0,0025$ м/с, в противном случае увеличивается глубина или количество секций усреднителя и расчет повторяется.

4.4. Проектируются трубы-барботеры, которые укладываются вдоль резервуара на подставках высотой 6-10 см. Глубина погружения барботеров H_b обычно составляет 3-5 м. Принимается расстояние между барботерами, равное для пристенных барботеров $B_b = (1-1,5)H_b$, для промежуточных - $B'b = (2-3)H_b$.



1 – подающий лоток; 2 – впускные отверстия; 3 – барботер; 4 – выпускное устройство; 5 – выпускная камера

Рисунок 3 – Усреднитель с барботированием воды



1 – канал поддачи воды;
2 – распределительный лоток;
3 – сборный лоток; 4 – глухая перегородка; 5 – канал отвода воды

Рисунок 4 – Многоканальный усреднитель с различной длиной каналов

4.2 Сооружения механической очистки сточных вод

Механическая очистка применяется для выделения из сточной воды грубодисперсных нерастворенных минеральных и органических примесей.

Для удаления взвешенных примесей из сточных вод используют следующие процессы:

1. процеживание (решетки (неподвижные и подвижные), сита, фракционаторы).
2. гравитационное отстаивание (песколовки (горизонтальные с прямолинейным и круговым движением воды, тангенциальные, вертикальные), отстойники (горизонтальные, вертикальные, радиальные, трубчатые), нефтеловушки, жироловушки).
3. центробежное отстаивание (гидроциклоны)
4. фильтрование (фильтры)

Решетки, песколовки, отстойник при очистке производственных сточных вод рассчитываются также, как при очистке городских сточных вод [4].

4.2.1 Гидроциклоны. Расчет открытого гидроциклона с диафрагмой

Открытые гидроциклоны применяют для всплывающих и оседающих грубодисперсных примесей гидравлической крупностью более $0,2$ мм/с и скоагулированных взвешенных частиц.

Алгоритм расчета:

1. Определим гидравлическую нагрузку на гидроциклон:

$$q_{nc} = 3,6 \cdot k \cdot u_0, M^3 / M^2 \cdot ч \quad (4.5)$$

где k – коэффициент, равный 0,61 для гидроциклонов без внутренних устройств; 1,96 – для гидроциклонов с конической диафрагмой и внутренним цилиндром;

2. Определяется суммарная площадь гидроциклонов:

$$F = \frac{Q}{q_{nc}}, M^2 \quad (4.6)$$

3. Принимаем количество гидроциклонов, шт.

4. Диаметр одного гидроциклона:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot N}}, M \quad (4.7)$$

5. Принимается гидроциклон с характеристиками:

– высота цилиндрической части $H=D+0,5$, м; диаметр впускного патрубка $d_{ep}=0,05 \cdot D$, м; диаметр центрального отверстия в диафрагме: $d_c=0,5 \cdot D$, м; угол конической части 60 град; угол конуса диафрагмы 90 град; диаметр внутреннего цилиндра $D_1=0,88 \cdot D$, м; высота внутреннего цилиндра $H_1=D$, м; высота водосливной стенки над диафрагмой 0,5 м; диаметр водосливной стенки 2,7 м; диаметр полупогружной кольцевой перегородки 2,5 м.

6. Эффект очистки по взвешенным веществам $\mathcal{E}=50\%$;

7. Содержание взвешенных веществ после гидроциклонов

$$C_2 = \frac{100\% \cdot C_1 - \mathcal{E} \cdot C_1}{100\%}, Mг / л \quad (4.8)$$

где C_1 – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, мг/л.

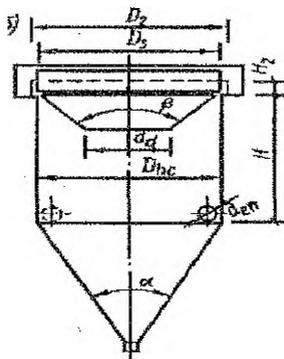
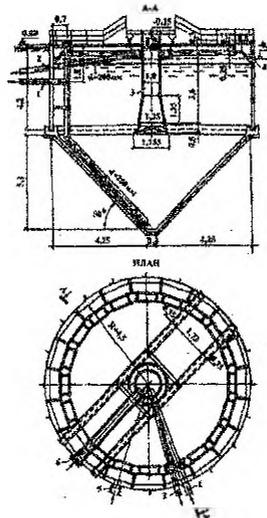


Рисунок 5 – Открытый гидроциклон с диафрагмой

4.2.2 Расчет вертикального отстойника

Вертикальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары с коническим днищем, в которых поток осветляемой воды движется в вертикальном направлении.

Выпадающий осадок накапливается в иловой конусной части отстойника, из которой удаляется под гидростатическим напором 1,5-2,0 м через иловую трубу в самотечную иловую сеть. Объем иловой части рассчитывается на двухсуточный объем образующегося осадка.



1 – иловая труба для выпуска осадка, 2 – жиропровод,
3 – центральная впускная труба с отражателем, 4 – сборный лоток
осветленной воды, 5 – отводящий лоток, 6 – подводящий лоток
Рисунок 6 – Вертикальный отстойник

Продолжительность отстаивания должна быть не менее 1 часа при скорости движения воды в вертикальных отстойниках 0,2 – 1 мм/с.

Площадь отстойника при скорости движения воды $v = 0,5$ мм/с:

$$F = Q_{\text{ос}} / v \cdot 3,6, \text{ м}^2 \quad (4.9)$$

где $Q_{\text{ос}}$ – расход производственных сточных вод, л/с.

При количестве отстойников $N = 2$, диаметр одного отстойника будет равен:

$$D = \sqrt{4 \cdot F / \pi \cdot N}, \text{ м} \quad (4.10)$$

Принимается вертикальный отстойник диаметром: 3,4,6,9 м и тд. Днище отстойника конусное с углом наклона к горизонту 50°.

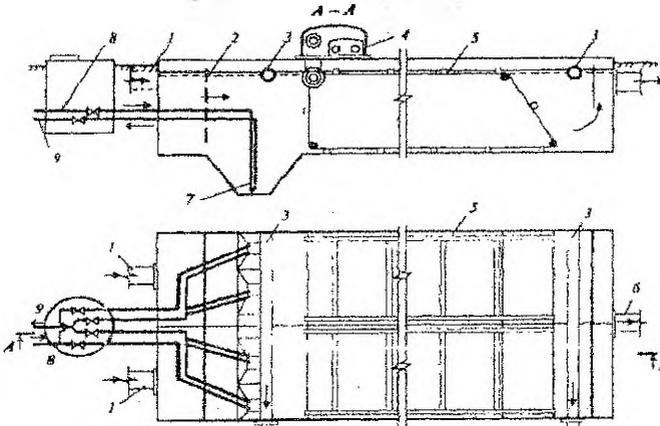
Высоту отстойной части отстойника h_1 принимается равной 2000 мм. Продолжительность пребывания сточных вод в отстойнике:

$$t = h_1 / v \cdot 3600, \text{ ч.} \quad (4.11)$$

Объем осадочной части одного отстойника $V_{ос}$ берется из расчета хранения половины суточного объема осадка. Объем осадка составляет 5% суточного расхода сточных вод.

4.2.3 Горизонтальная нефтеловушка

Нефтеловушка представляет собой горизонтальный отстойник, разделенный продольными секциями на параллельно работающие секции.



1 — подводящая труба, 2 — щелевая распределительная перегородка, 3 — нефтесборная труба, 4 — механизм передвижения скребков, 5 — скребковый транспортер, 6 — тр-од отвода осветленной воды, 7 — гидрозлеватор, 8 — подача воды к гидрозлеватору, 9 — отвод осадка

Рисунок 7 — Горизонтальная нефтеловушка

Максимальный секундный расход на нефтеловушки определяется по формуле:

$$q_{max} = \frac{Q_{max} \cdot K_{max}}{24 \cdot 3600}, \text{ м}^3 / \text{с.} \quad (4.12)$$

При проектировании нефтеловушек следует принимать глубину проточной части (H_1) 2 м, отношение глубины к длине 15-20 м, ширину секций 3-6 м, число секций не менее 2; слой всплывшей нефти 0,1 м, слой осадка до 0,1 м; влажность свежевывающего осадка 95% при плотности 1,5 т/м³; количество задержанного осадка по сухому веществу 80-120 г на 1 м³ сточных вод, скорость движения воды 4-6 мм/с.

Принимается количество секций нефтеловушки (не менее 2-х), глубина проточной части. Скорость движения воды (v , м/с) определяется по таблице 6.8 [4] в зависимости от типа отстойника.

Эффект очистки воды от нефтепродуктов рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100, \%. \quad (4.13)$$

В зависимости от эффекта очистки при отсутствии данных о кинетике всплывания нефтяных частиц допускается принимать гидравлическую крупность (u_0) этих частиц в пределах от 0,4 мм/с (с количеством уловленной нефти 70%) до 0,6 мм/с (с количеством уловленной нефти 60%).

Ширина отделений вычисляется по формуле:

$$B = \frac{q_{\text{max}}}{n \cdot H_1 \cdot v}, \text{ м}, \quad (4.14)$$

где q_{max} — максимальный расход сточных вод, м³/с;

n — число отделений;

H_1 — глубина проточной части отстойника, м;

v — средняя скорость потока в пределах рабочей длины отстойника, м/с.

Длина отделений определяется:

$$L = \frac{v \cdot H_1}{k \cdot (u_0 - \omega)}, \text{ м}, \quad (4.15)$$

где u_0 — гидравлическая крупность, соответствующая заданному эффекту осветления воды для реальных размеров сооружения и условий проектирования, мм/с;

k — коэффициент объемного использования отстойника 0,5;

ω — вертикальная турбулентная составляющая, определяемая по формуле:

$\omega = 0.05 \cdot v$ или таблица 6.9 [4];

где v — средняя скорость движения воды, м/с.

Количество уловленной нефти определяется:

$$G = \frac{C_1 \cdot \varepsilon \cdot k \cdot Q}{1000 \cdot 1000 \cdot 100}, \text{ т/сут}, \quad (4.16)$$

где C_1 — концентрация загрязняющих веществ в сточной жидкости до отстаивания, мг/л;

k — коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвеси, не улавливаемых при отборе проб для анализа, $k=1,1-1,2$;

$Q_{\text{ср.сут.}}$ — среднесуточный расход сточных вод, м³/сут;

ε — эффект очистки, %.

4.2.4 Расчет тонкослойной нефтеловушки

Один из аппаратов первичной очистки от нефтепродуктов — нефтеловушка. Режим движения воды в ней должен быть очень спокойным (0,005 — 0,01 м/с), чтобы нефтепродукты в зависимости от своей плотности успели либо всплыть, либо опуститься на дно. Для частичек нефти диаметром 80-100 мкм скорость всплывания обычно равна 1-4 мм/с. При этом всплывает 96-98 % нефти. Продолжительность отстаивания не менее 2 ч.

Определить максимальный секундный расход:

$$q_{\text{максек}} = \frac{Q_{\text{ср.сут.}} \cdot k_n}{24 \cdot 3600}, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (4.17)$$

где k_n — коэффициент часовой неравномерности;

$Q_{\text{ср.сут.}}$ — расход СВ, м³/сут

Принимается количество секций нефтеловушки n , не менее двух и глубина отстаиваемого слоя воды $H = 2,5-3$ м.

Принимаются геометрические параметры тонкослойного блока: ширина пластины $B = 0,5$ м (при Q до 30 м³/ч) или $0,65-0,75$ м (при Q более 30 м³/ч), расстояние между пластинами $h_{пл} = 0,05$ м.

Гидравлический радиус:

$$R_{гидр} = \frac{B \cdot h_{пл}}{2 \cdot (B + h_{пл})}, \text{ м} \quad (4.18)$$

Скорость в тонкослойном блоке:

$$v = \frac{R_e \cdot \nu}{4 \cdot R_{гидр}} \text{ м/с} \quad (4.19)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости = $8 \cdot 10^{-7}$ м²/с;

R_e – число Рейнольдса ($Re=700$);

$R_{гидр}$ – гидравлический радиус, м.

Определяем площадь сечения тонкослойного блока:

$$F_{сеч} = \frac{q_{макс,сек}}{2 \cdot v \cdot n}, \text{ м}^2 \quad (4.20)$$

где n – количество секций, шт.

7. Продолжительность пребывания воды в тонкослойном блоке:

$$T = \frac{h}{u_0 \cdot \cos \alpha}, \text{ сек} \quad (4.21)$$

где h – расстояние между пластинами, м; $u_0 = 0,15$ мм/с;

α – угол наклона пластин, $\alpha = 45^\circ$.

8. Длина тонкослойного блока:

$$L_{бр} = k \cdot v \cdot T, \text{ м} \quad (4.22)$$

где k – коэффициент сноса, $k = 1,3$.

Строительная длина нефтеловушки:

$$L_{общ} = L_{бр} + 5,5 \quad (4.23)$$

где $L_{бр}$ – длина блока, м.

Ширина блока:

$$B_{бр} = B_{пл} \cdot \cos \alpha, \text{ м} \quad (4.24)$$

Высота блока:

$$H_{бр} = \frac{F_{сеч}}{B_{бр}}, \text{ м} \quad (4.25)$$

Ширина одного отделения (секции) нефтеловушки:

$$B_{\text{отдел}} = 2 \cdot B_{\text{отд}} + 4 \cdot b_1 + b_2, \text{ м} \quad (4.26)$$

где b_1 – расстояние между блоком и боковой стенкой = 50 мм;
 b_2 – расстояние между блоками по ширине канала = 100 мм.

Строительная ширина:

$$B_{\text{стр}} = B_{\text{отдел}} \cdot n + 0,6, \text{ м} \quad (4.27)$$

где $B_{\text{отдел}}$ – ширина одного отделения, м;
 n – количество секций.

Строительная высота

$$H_{\text{стр}} = H_{\text{отд}} + 1, \text{ м} \quad (4.28)$$

Содержание нефтепродуктов после тонкослойной нефтеловушки 50 мг/л.
 Суточный объем нефтепродуктов, образующихся в нефтеловушке:

$$Q_{\text{н/п}} = \frac{Q_{\text{сут(неф)}} \cdot (C_1 - C_2)}{10^4 \cdot (100 - \varphi_{\text{нп}}) \cdot \rho_{\text{нп}}}, \text{ м}^3 / \text{сут} \quad (4.29)$$

$\varphi_{\text{нп}}$ – влажность = 70%;

$\rho_{\text{нп}}$ – плотность = 0,95 т/м³;

C_1 и C_2 – концентрация нефтепродуктов в сточных водах до и после нефтеловушки соответственно, мг/л.

Нефтесборник

Рассчитываем объем нефтесборника на 3-суточное хранение нефтепродуктов:

$$V_{\text{нефт.}}^{\text{3сут.}} = Q_{\text{н/п}} \cdot 3, \text{ м}^3 \quad (4.30)$$

Принимается нефтесборник прямоугольный в плане.

4.3. Сооружения физико-химической очистки сточных вод

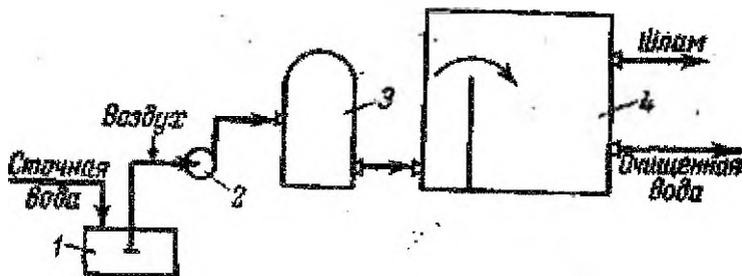
К физико-химическим методам очистки сточных вод относят флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию, ректификацию, выпаривание, дистилляцию, обратный осмос, кристаллизацию, десорбцию и др. Эти методы используют для удаления из сточных вод тонкодиспергированных взвешенных частиц (твердых и жидких), растворимых газов, минеральных и органических веществ.

4.3.1 Напорная флотация с рециркуляцией сточной воды

Флотацию применяют для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются (ПАВ, нефть, масла, волокнистые материалы).

Достоинства: непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, по сравнению с отстаиванием большая скорость процесса, высокая степень очистки (95-98%).

Суть процесса: при сближении поднимающегося в воде пузырька воздуха с твердой частицей разделяющая их прослойка воды при некоторой критической толщине прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. Затем, комплекс пузырек - частица поднимается на поверхность воды, где пузырьки собираются и возникает пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде.



1 – емкость, 2 – насос, 3 – напорный бак (сатуратор),
4 – флотатор (флотационная камера)

Рисунок 8 – Схема напорной флотации

Алгоритм расчета:

Объем флотатора определяется исходя из продолжительности пребывания в нем сточной воды в течение 20 минут:

$$W_{\text{об}} = \frac{Q_{\text{ст}} \cdot t}{60}, \text{ м}^3 \quad (4.31)$$

Глубина флотатора при обработке сточных вод с расходом до 100 м³/час принимается 1,5 - 2 м, флотаторы принимаются прямоугольные в плане. Принимаем глубину воды H= 2 м, тогда площадь:

$$F = \frac{W_{\text{об}}}{H}, \text{ м}^2 \quad (4.32)$$

При принятой площади флотационной камеры определим гидравлическую нагрузку на нее, она должна быть 6-10 м³/ч на 1 м² площади поверхности камеры.

$$q = \frac{Q_{\text{ст}}}{F}, \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot \text{м}^2 \quad (4.33)$$

Принимается количество флотационных камер (не менее 2-х), по полученной площади определяются размеры в плане флотационных камер; ширина пенного желоба принимается конструктивно не более 0,5м.

Сатуратор

Метод напорной флотации с рециркуляцией сточной воды заключается в том, что воздух вводят в возвращаемую во флотационную установку часть очищенных сточных вод. Таким образом, объем сатуратора рассчитывается исходя из продолжительности пребывания в нем рециркуляционного расхода сточной воды в течение T=2 минут. Рециркуляционный расход сточных вод составляет 20% от общего расхода сточных вод. Следовательно, объем сатуратора будет равен:

$$W_{\text{сат}} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot t}{60}, \text{ м}^3 \quad (4.34)$$

Принимается сатуратор круглый в плане. Для подачи рециркуляционного расхода воды в сатуратор принимаются химические насосы.

Пеносборник

Объем пеносборника определяется исходя из продолжительности пребывания в нем пены в течение $T = 6$ часов. В пеносборнике происходит уплотнение пенного продукта. Расход пены составляет 5% от расхода сточной воды.

Таким образом, объем пеносборника будет равен:

$$W_{\text{пен}} = Q_{\text{час}} \cdot T, \text{ м}^3 \quad (4.35)$$

Принимается пеносборник круглый в плане.

4.4 Сооружения химической очистки сточных вод

4.4.1 Сооружения коагуляции и флокуляции

Методы коагуляции и флокуляции применяют для удаления из сточных вод агрегативно-устойчивых загрязнений (коллоидных). Реагенты и их дозы можно принимать по таблице 10.1 [4]. В состав сооружений входят: устройства для приготовления и дозирования коагулянтов, флокулянтов и других реагентов, смесители, отстойники или осветлители со взвешенным слоем, которые рассчитываются также как при очистке природных вод.

Расчет реагентных хозяйств коагулянта и флокулянта приведен в [6].

4.4.2 Нейтрализация сточных вод

Нейтрализации подлежат воды, величина pH которых ниже 6,5 или выше 8,5 перед их выпуском в водоем или систему водоотведения населенного пункта. Для нейтрализации кислых вод используют щелочи, а щелочных - кислоты.

Нейтрализация смешением. Может быть осуществлена, если на одном предприятии или на соседних предприятиях имеются кислые и щелочные воды, не загрязненные другими компонентами. Смешение кислых и щелочных вод производится в емкости с мешалкой или без мешалки. В последнем случае перемешивание ведут воздухом.

При переменной концентрации сточных вод в схеме предусматривается установка усреднителя или осуществляется автоматическое регулирование подачи вод в камеру смешения.

Нейтрализация путем добавления реагентов. Для нейтрализации кислых вод могут быть использованы щелочи (NaOH, KOH), сода, аммиачная вода, карбонаты кальция и магния, доломит. Однако наиболее дешевым реагентом является известковое молоко с содержанием активной извести Ca(OH) 2 5—10%. Для нейтрализации щелочных сточных вод используют различные кислот или кислые газы.

Удельный расход реагента на нейтрализацию определяют по стехиометрическому расчету (таблица 4.5). Дозу реагента принимают на 10% больше.

В тех случаях, когда задана только величина pH сточных вод, для определения дозы реагента можно пользоваться таблицей 6.

Таблица 4

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кол-во реагента, г-экв/м ³	100	10	1	0,1	0,01	0,001	0	0,001	0,01	0,1	1	10	100

Например, чтобы изменить pH сточных вод от 2 до 9 требуется $10+0,01=10,01$ г- экв/м³ щелочи. Доза реагента при этом будет равна: едкого натра $DNaOH = ЭNaOH \cdot 10,01 = 40 \cdot 10,01 = 400,4 \text{ г/м}^3$, извести по CaO: $DCaO = ЭCaO \cdot 10,01 = 28 \cdot 10,01 = 280,28 \text{ г/м}^3$;

где $Э_{NaOH}$ и $Э_{CaO}$ – эквивалентный вес едкого натра и извести соответственно.

Расчет реагентного хозяйства, смесителей, отстойников производят как и при других методах очистки воды [4].

Таблица 5 – удельный расход щелочи (числитель) и кислоты (знаменатель), для нейтрализации 100%-ных кислот и щелочей, кг/кг

Щелочь	Кислота		
	серная	соляная	азотная
Известь: негашеная (CaO)	0,56	0,77	0,46
	1,79	1,3	2,2
гашеная (Ca(OH) ₂)	0,76	1,01	0,59
	1,32	0,99	1,7
Сода: кальцинированная (Na ₂ CO ₃)	1,08	1,45	0,84
	0,93	0,69	1,19
каустическая (NaOH)	0,82	1,1	0,64
	1,22	0,91	1,59

4.4.3 Сооружения для очистки сточных вод реагентами-осадителями

Метод осаждения применяют для удаления из сточных вод загрязнений в ионной форме (катионы цинка, меди, никеля и др., анионы фтора, мышьяка и др.), что характерно, например, для сточных вод гальванических производств. При этом в воду вводят реагенты-осадители, образующие с ионами загрязнений малорастворимые соединения, которые затем удаляются из воды как взвешенные вещества. В таблице 6 представлены реагенты-осадители некоторых ионов.

Удельные расходы реагентов определяют по стехиометрическому расчету (таблица 6,7). Дозы реагентов принимают на 20-50% больше.

Таблица 6 – Реагенты-осадители некоторых ионов

Осаждаемый ион	Реагент-осадитель	Малорастворимое соединение	Оптимальное значение pH осаждения
Zn ²⁺	CaCO ₃	ZnCO ₃	9-9,5
	Ca(OH) ₂	Zn(OH) ₂	
	Na ₂ S	ZnS	
Cu ²⁺	Ca(OH) ₂	Cu(OH) ₂	8,0-9,0
	Ca(OH) ₂ + CaCO ₃	Cu(OH) ₂ CO ₃	
Ni ²⁺	Ca(OH) ₂	Ni(OH) ₂	8,0-9,0
	Ca(OH) ₂ + CaCO ₃	Ni(OH) ₂ CO ₃	
Cr ³⁺	Ca(OH) ₂	Cr(OH) ₃	8,0-9,0
F ⁻	Ca(OH) ₂	CaF ₂	8,0-9,0

Таблица 7 – Удельный расход реагента, кг/кг, удаления металлов

Металл	Реагент			
	CaO	Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	NaOH
Цинк	0,85	1,13	1,6	1,22
Никель	0,95	1,26	1,8	1,36
Медь	0,88	1,16	1,66	1,26
Железо	1,00	1,32	1,9	1,43

Для обезвреживания CN⁻ - окисление цианидов до цианатов, путем добавления реагентов содержащих активный хлор (хлорная вода, гипохлорит кальция и натрия и др.), оптимальное значение pH среды для прохождения реакции – 11-11,5. Дозу активного хлора следует принимать из расчета 2,73 мг на 1 мг цианидов цинка, никеля, кадмия, синильной кислоты и простых цианидов и 3,18 мг/мг – для комплексных цианидов меди с избытком не мене 5 мг/л.

Для обезвреживания хромсодержащих сточных вод (восстановление Cr⁶⁺ в Cr³⁺) следует применять бисульфит натрия при значениях pH от 2,5 до 3,0 или сульфат железа (II) - при pH менее 6,0. Дозу бисульфита натрия следует принимать равной 7,5 мг на 1 мг шестивалентного хрома при концентрации его до 100 мг/дм³ и 5,5 мг/мг – при концентрации хрома свыше 100 мг/дм³. Дозу сульфата железа следует принимать по [4].

В состав сооружений входят: реагентное хозяйство, дозаторы, смесители, отстойники, узлы обезвоживания осадка, расчет которых производят по [4,6].

Обычно сточные воды, содержащие катионы металлов, имеют кислую среду. Дозу щелочного реагента в этих случаях определяют как сумму доз для нейтрализации и осаждения металлов.

4.5 Сооружения биологической очистки сточных вод

Расчет сооружений биологической очистки следует вести по БПК₅ с учетом первичного отстаивания.

4.5.1 Преаэраторы

Преаэраторы следует применять на станциях очистки с аэротенками, биокоагуляторы – на станциях очистки, как с аэротенками, так и с биологическими фильтрами.

При проектировании преаэраторов и биокоагуляторов необходимо принимать:

– число секций отдельно стоящих преаэраторов - не менее двух, причем все рабочие; продолжительность аэрации сточной воды с избыточным активным илом - 20 мин; количество подаваемого ила – 50 - 100 % избыточного, биологической пленки - 100 %; удельный расход воздуха - 5 м³ на 1 м³ сточных вод; увеличение эффективности задержания загрязняющих веществ (по БПК и взвешенным веществам) в первичных отстойниках - на 20 - 25 %; гидравлическую нагрузку на зону отстаивания биокоагуляторов - не более 3 м³/(м²·ч).

В преаэратор следует подавать ил после регенераторов. При отсутствии регенераторов необходимо предусматривать возможность регенерации активного ила в преаэраторах; вместимость отделений для регенерации следует принимать равной 0,25 - 0,30 их общего объема.

4.5.2 Капельные биологические фильтры

Для капельных биофильтров следует принимать:

– рабочую высоту H_{bf} – от 1,5 до 2 м; гидравлическую нагрузку q_{bf} – от 1 до 3 м³/(м²·сут); БПК₅ очищенной воды L_{ex} – 15 мг/л.

При расчете капельных биофильтров величину q_{bf} при заданных L_{en} и L_{ex} , мг/л, температуре воды T_w следует определять по таблице 8, где $K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}$

Таблица 8

Гидравлическая нагрузка q_{bf} , м ³ /(м ² ·сут)	Коэффициент K_{bf} при температурах T_w , °С, и высоте H_{bf} , м							
	$T_w = 8$		$T_w = 10$		$T_w = 12$		$T_w = 14$	
	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2$	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2$	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2$	$H_{bf} = 1,5$	$H_{bf} = 2$
1	8	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7	10,9	8,2	11,7	10	12,8
2	4,9	8,2	5,7	10	6,6	10,7	8	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3	3,8	6	4,4	7,1	6	8,6	5,9	10,2

Примечание – Если значение K_{bf} превышает табличное, то необходимо предусмотреть рециркуляцию.

4.5.3 Высоконагружаемые биологические фильтры

4.5.3.1 Аэрофильтры

БПК₅ сточных вод, подаваемых на аэрофильтры, не должна превышать значений указанных в 7.3.12. При большей БПК₅ необходимо предусматривать рециркуляцию очищенных сточных вод. Коэффициент рециркуляции K_{rc} следует определять по формуле:

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}} \quad (4.36)$$

где L_{mix} – БПК₅ смеси исходной и циркулирующей воды, при этом L_{mix} – не более 200 мг/л; L_{en} , L_{ex} – БПК₅ соответственно исходной и очищенной сточной воды.

Для аэрофильтров следует принимать:

– рабочую высоту H_{af} – от 2 до 4 м; гидравлическую нагрузку q_{af} – от 10 до 30 м³/(м²·сут); удельный расход воздуха q_a – от 8 до 12 м³/м³ с учетом рециркуляционного расхода.

При расчете аэрофильтров допустимую величину q_{af} , м³/(м²·сут), при заданных q_a и H_{af} следует определять по таблице 9, где $K_{af} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}$.

Площадь аэрофильтров F_{af} , м², при очистке без рециркуляции необходимо рассчитывать по принятой гидравлической нагрузке q_{af} , м³/(м²·сут), и суточному расходу сточных вод Q , м³/сут.

При очистке сточных вод с рециркуляцией площадь аэрофильтра F_{af} , м², следует определять по формуле

$$F_{af} = \frac{Q \cdot (K_{rc} + 1)}{q_{af}} \quad (4.37)$$

Таблица 9

$q_{об}$, м ³ /м ³	$H_{об}$, м	Коэффициент $K_{об}$ при T_w , °С, $H_{об}$, м, и $q_{об}$, м ³ /(м ² ·сут)											
		$T_w = 8$			$T_w = 10$			$T_w = 12$			$T_w = 14$		
		$q_{об}=10$	$q_{об}=20$	$q_{об}=30$	$q_{об}=10$	$q_{об}=20$	$q_{об}=30$	$q_{об}=10$	$q_{об}=20$	$q_{об}=30$	$q_{об}=10$	$q_{об}=20$	$q_{об}=30$
8	2	3,02	2,32	2,04	3,38	2,55	2,18	3,76	2,74	2,36	4,3	3,02	2,56
	3	5,25	3,53	2,89	6,2	3,96	3,22	7,32	4,64	3,62	8,95	5,25	4,09
	4	9,05	5,37	4,14	10,4	6,25	4,73	11,2	7,54	5,56	12,1	9,05	6,54
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,5	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
	3	6,1	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,9	6,04	4,84
	4	10,1	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68	15,1	8,45	6,88	16,4	10	7,42
12	2	4,32	3,88	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,7
	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,9	6,35	5,14	11,7	7,2	5,72
	4	12	7,35	5,83	14,8	8,5	6,2	18,4	10,4	7,69	23,1	12	8,83

Примечание – Для промежуточных значений $q_{об}$, $H_{об}$ и T_w допускается величину $K_{об}$ определять интерполяцией.

4.5.3.2 Биофильтры с пластмассовой загрузкой

Для биофильтров с пластмассовой загрузкой следует принимать:

– рабочую высоту $H_{об}$ – от 3 до 4 м; – естественную аэрацию.

В случае возможного прекращения притока сточных вод на биофильтр необходимо предусматривать рециркуляцию сточных вод во избежание высыхания биопленки на поверхности загрузки.

При расчете биофильтров с пластмассовой загрузкой следует определять:

– гидравлическую нагрузку $q_{об}$, м³/(м²·сут) – в соответствии с необходимым эффектом очистки \mathcal{E} , %, температурой сточных вод T_w , °С, и принятой высотой $H_{об}$, м, по таблице 10; объем загрузки и площадь биофильтров – по гидравлической нагрузке и расходу сточных вод.

Таблица 10

Эффект очистки \mathcal{E} , %	Гидравлическая нагрузка $q_{об}$, м ³ /(м ² ·сут), при высоте загрузки $H_{об}$, м							
	$H_{об} = 3$				$H_{об} = 4$			
	Температура сточных вод T_w , °С							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10	11	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15	16,4	17,9

4.6 Биологическая очистка в системах с активным илом

Системы с активным илом допускается применять для биологической очистки бытовых и производственных сточных вод от органических и неорганических примесей, подверженных биохимическому разложению. Выбор технологической схемы очистки, состава и типа сооружений необходимо производить с учетом цели очистки (полная или частичная очистка от веществ, подверженных биохимическому разложению, нитрификация, денитрификация, удаление соединений фосфора, очистка от специфических примесей).

Конструкция и режим эксплуатации аэротенков должны обеспечивать: достаточную дозу активного ила в сооружении; регулируемую подачу кислорода в иловую смесь достаточную для восполнения его потребления; достаточную интенсивность переме-

шивания иловой смеси с целью предотвращения отложений на дне сооружений. Перемешивание в аэротенках предусматривать за счет использования аэрации и перемешивающих устройств, в емкостях с активным илом. Удельная мощность перемешивающих устройств для обеспечения требуемых скоростей иловой смеси должна составлять от 1,0 до 5,0 Вт на 1 м³ объема емкостного сооружения.

Скорости движения иловой смеси у дна сооружения на участках, где отсутствуют аэрационные устройства, должны быть не менее 0,25 м/с для легких форм активного ила и 0,3 м/с для тяжелых форм активного ила.

Выбор технологической схемы, состава и типа сооружений производить с учетом: концентрации соединений азота в исходной сточной воде, отношения концентрации органических веществ подверженных биохимическому разложению, оцениваемой по БПК₅ к концентрации соединений азота (БПК₅/ N); требуемой степени очистки; расхода сточных вод и неравномерности их поступления на очистные сооружения; технико-экономических требований.

Дозу ила в технологических сооружениях, следует определять технико-экономическим расчетом с учетом работы вторичных отстойников и цели обработки сточной воды. Допускается принимать дозу ила по таблице 4 приложение 2.

Расчет вместимости аэротенков других емкостных сооружений с активным илом и следует определять в зависимости от минимального возраста активного ила с учетом принятой дозы активного ила в иловой смеси и уровню допустимой нагрузки по БПК₅ на активный ил. Допускается применение других методов расчета вместимости указанных сооружений при обосновании.

При БПК₅ поступающей на аэротенки сточной воды более 100 мг/дм³, а также при наличии в воде вредных производственных примесей следует предусматривать регенерацию активного ила.

Концентрацию БПК₅ поступающей на аэротенки сточной воды следует принимать с учетом ее снижения на предыдущих стадиях очистки.

4.6.1 Аэротенки - смесители без регенераторов

Объем аэротенка-смесителя без регенератора следует принимать по формуле

$$W_{atm} = q_w t_{atm} \quad (4.38)$$

где q_w – расчетный расход сточной воды, м³/ч; t_{atm} – период аэрации, ч.

Период аэрации t_{atm} , в аэротенках, работающих по принципу смесителей, следует определить по формуле:

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i \cdot (1-s) \cdot \rho} \quad (4.39)$$

где L_{en} – БПК₅ поступающей в аэротенк сточной воды (с учетом снижения БПК при первичном отстаивании), мг/дм³; L_{ex} – БПК₅ очищенной воды, мг/дм³; a_i – доза ила, г/дм³, s

– зольность ила, принимаемая по таблице 5 приложение 2; ρ – удельная скорость окисления, мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле:

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex} C_o}{L_{ex} C_o + K_1 C_o + L_{ex} K_o} \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i} \quad (4.40)$$

где ρ_{\max} – максимальная скорость окисления, мг/(г·ч), принимаемая по таблице 5 приложение 2; C_0 – концентрация растворенного кислорода, мг/дм³; K_1 – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК₅/дм³, и принимаемая по таблице 5 приложение 2; K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мг О₂/дм³, и принимаемая по таблице 5 приложение 2; φ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, дм³/г, принимаемый по таблице 5 приложение 2.

Степень рециркуляции активного ила R_i , в аэротенках следует рассчитывать по формуле:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} \quad (4.41)$$

где a_i – доза ила в аэротенке, г/дм³; J_i – иловый индекс, см³/г.

Формула 7.6 применима при иловом индексе J_i не более 175 см³/г и дозах ила до 5 г/дм³. При условиях отличающихся от указанных величину R_i , принимать на основании технологических изысканий и рекомендаций научно-исследовательских организаций.

Величина R_i должна быть не менее 0,3 для отстойников с илососами, 0,4 – с илоскребами, 0,6 – при самотечном удалении ила или удалении ила эрлифтами.

Для других производств указанные параметры следует принимать по данным научно-исследовательских организаций.

Величину илового индекса необходимо определять экспериментально при разбавлении иловой смеси до 1 г/дм³ в зависимости от нагрузки на ил. Для городских и основных видов производственных сточных вод допускается определять величину J_i по таблице 6 приложение 2.

Для окисленков величина J_i должна быть снижена в 1,3-1,5 раза.

Нагрузку на ил q_i , мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в сутки, следует рассчитывать по формуле

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{am} - L_{ex})}{a_i \cdot (1-s) \cdot t_{a\text{tm}}} \quad (4.42)$$

где $t_{a\text{tm}}$ – период аэрации, ч.

4.6.2 Аэротенки-смесители с регенераторами

Объем аэротенка-смесителя с регенераторами следует определять как сумму объемов аэротенка $W_{a\text{tm}}$, м³, и регенератора W_r , м³, по формуле:

$$W_{a\text{tm}} + W_r = q_w \cdot t_{a\text{tm}}, \quad (4.43)$$

где q_w – расчетный расход сточной воды, м³/ч; $t_{a\text{tm}}$ – период аэрации, ч, определяемый по зависимости

$$t_{a\text{tm}} = \frac{L_{on} - L_{ex}}{a_{\text{mix}} \cdot (1-s) \cdot \rho}, \quad (4.44)$$

где $a_{i \text{ mix}}$ – средняя доза ила в системе аэротенк-смеситель с регенератором, определяемая согласно 7.6.5; ρ – удельная скорость окисления, мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле 7.6 при дозе ила $a_{i \text{ mix}}$.

Объем аэротенка $W_{\text{атм}}$ следует рассчитывать по зависимости:

$$W_{\text{атм}} = \frac{W_{\text{атм}} + W_r}{\left(1 + \frac{R_i}{1 - R_i}\right)} \quad (4.45)$$

где R_i – доля регенератора в общем объеме аэротенка-смесителя с регенератором.

Значение R_i следует принимать на основании данных технологических исследований, рекомендаций научно-исследовательских организаций или данных эксплуатации действующих очистных сооружений, которые характеризуются аналогичными условиями эксплуатации.

Степень рециркуляции активного ила R_i в аэротенках-смесителях с регенераторами следует рассчитывать по формуле с учетом условий указанных в 7.6.8.3

$$R_i = \frac{a_{i \text{ mix}}}{\frac{1000}{J_i} - a_{i \text{ mix}}} \quad (4.46)$$

где $a_{i \text{ mix}}$ – средняя доза ила в системе аэротенк-смеситель с регенератором, г/дм³.

При проектировании аэротенков-смесителей с регенераторами дозу ила в аэротенке следует определять по зависимости:

$$a_i = \frac{(W_{\text{атм}} + W_r) a_{i \text{ mix}}}{W_{\text{атм}} + \left(\frac{1}{2 \cdot R_i} + 1\right) W_r} \quad (4.47)$$

4.6.3 Аэротенки-вытеснители без регенераторов

Объем аэротенка-вытеснителя без регенератора надлежит рассчитывать по зависимости

$$W_{\text{ат}} = t_{\text{атв}} (1 + R_i) q_w \quad (4.48)$$

где q_w – расчетный расход сточных вод, м³/ч, $t_{\text{атв}}$ – период аэрации аэротенках-вытеснителях ч.

Период аэрации $t_{\text{атв}}$, ч, в аэротенках-вытеснителях следует рассчитывать по формуле

$$t_{\text{атв}} = \frac{1 + \varphi \cdot a_i}{\rho_{\text{max}} \cdot C_o \cdot a_i (1 - s)} \left[(C_o + K_o) \cdot (L_{\text{mix}} - L_{\text{ex}}) + K_i \cdot C_o \cdot \ln \left(\frac{L_{\text{mix}}}{L_{\text{ex}}} \right) \right] \cdot K_p \quad (4.49)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания:

1,5 при биологической очистке до $L_{\text{ex}} = 10$ мг/дм³;

1,25 при $L_{\text{ex}} > 20$ мг/дм³;

L_{mix} – БПК₅, определяемая с учетом разбавления рециркуляционным расходом:

$$L_{\text{цик}} = \frac{L_{\text{ан}} + L_{\text{ок}} \cdot R_i}{1 + R_i}, \quad (4.50)$$

где R_i – степень рециркуляции активного ила, определяемая по формуле (7.6); обозначения величин a_i , $\rho_{\text{макс}}$, C_{O} , $L_{\text{ан}}$, $L_{\text{ок}}$, K_i , K_{O} , φ , s , следует принимать по формуле (7.6).

Режим вытеснения обеспечивается при отношении длины коридоров l к ширине b свыше 30. При $l/b < 30$ необходимо предусматривать секционирование коридоров с числом ячеек пять-шесть.

4.6.4 Аэротенки-вытеснители с регенераторами

При проектировании аэротенков-вытеснителей с регенераторами объем аэротенка $W_{\text{ат}}$, м³, следует определять по формуле:

$$W_{\text{ат}} = t_{\text{ат}} \cdot (1 + R_i) \cdot q_w, \quad (4.51)$$

Вместимость регенераторов W_r , м³, следует определять по формуле:

$$W_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w, \quad (4.52)$$

где q_w – расчетный расход сточных вод, м³/ч., $t_{\text{ат}}$ – продолжительность обработки воды в аэротенке ч, t_r – продолжительность регенерации, ч, R_i – степень рециркуляции активного ила, определяемая по формуле (7.6);

Продолжительность обработки воды в аэротенке $t_{\text{ат}}$, ч, необходимо определять по формуле:

$$t_{\text{ат}} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \cdot \lg \left(\frac{L_{\text{ан}}}{L_{\text{ок}}} \right), \quad (4.53)$$

Продолжительность регенерации t_r , ч, следует определять по формуле:

$$t_{\text{ат}} = t_o - t_{\text{ат}}, \quad (4.54)$$

где t_o – продолжительность окисления органических загрязняющих веществ в аэротенках с регенераторами, ч,

Продолжительность окисления органических загрязняющих веществ t_o , ч, следует определять по формуле:

$$t_o = \frac{L_{\text{ан}} - L_{\text{ок}}}{R_i \cdot a_i \cdot (1 - s) \cdot \rho}, \quad (4.55)$$

где R_i – степень рециркуляции активного ила, определяемая по формуле (7.6);

a_i – доза ила в регенераторе, г/дм³, определяемая по формуле:

$$a_i = a_r \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right), \quad (4.56)$$

ρ – удельная скорость окисления для аэротенков, определяемая по формуле (7.5) при дозе ила a_r

Продолжительность пребывания сточной воды в системе аэротенка-вытеснителя с регенератором следует рассчитывать по зависимости:

$$t_{a-r} = t_{a-r} (1+R_i) + R_i t_r \quad (4.57)$$

Средняя доза активного ила в системе аэротенка-вытеснителя с регенератором должна определяться по зависимости:

$$a_{i, \text{ср}} = \frac{(1+R_i) t_{a-r} a_i + R_i t_r a_r}{t_{a-r}} \quad (4.58)$$

где a_i и a_r – доза ила в аэротенке и регенераторе соответственно, г/дм³; R_i – степень рециркуляции активного ила, определяемая по формуле (7.6) с учетом условий указанных в 7.5.7.3.

5. СООРУЖЕНИЯ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД. РАСЧЕТ СОРБЦИОННОГО ФИЛЬТРА

При доочистке сточных вод фильтрация используется как самостоятельно, так и совместно с другими методами. Наибольшее распространение получили фильтры с зернистой загрузкой, которые применяют для доочистки производственных сточных вод после механической, химической или физико-химической очистки, а также городских хозяйственно-бытовых сточных вод или их смеси с производственными после биологической очистки.

В результате доочистки сточных вод в загрузке фильтров задерживаются мелкодисперсные взвешенные частицы и активный ил, выносимые из отстойников или осветлителей, а также некоторые специфические компоненты (нефтепродукты, фосфор и др.), характерные для стоков отдельных промышленных предприятий.

Площадь напорного сорбционного фильтра:

$$F = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{очс}}^{\text{ср}}}{T \cdot v_{\text{р.ф.}} - 3,6 \cdot n \cdot w \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot v_{\text{р.ф.}}} \cdot M^2 \quad (5.1)$$

где $Q_{\text{очс}}^{\text{ср}}$ – расход осветленных сточных вод, м³/сут; T – продолжительность работы очистных сооружений в течении суток, $T=24$ ч; n – количество промывок в течение суток, принимается 1-2; $v_{\text{р.ф.}}$ – расчетная скорость фильтрования, м/ч, принимается 10-15 м/ч [8]; w , t_1 – интенсивность (8-12 л/сек*м²) и продолжительность (7-12 мин) промывки загрузки, принимается по таблице 3, приложение 4 [8]

t_2 – продолжительность простоя фильтра из-за промывки, $t_2=0,25$ ч.

Принимаем по таблице 10 типовой сорбционный фильтр. Загрузка фильтра - гранулированный активный уголь марки АГ-3 или АГ-М. По типовым размерам фильтра (таблица 10) принимается диаметр и площадь одного фильтра.

Определяем количество рабочих фильтров по формуле:

$$N = \frac{F}{f} \quad (5.2)$$

где f – площадь фильтра, м² (по таблице 10).

Таблица 10 – Основные размеры сорбционных угольных фильтров

Тип фильтра	Диаметр, м	Площадь фильтра, м ²	Общая высота фильтра, мм
ФСУ-2,0-6	2,0	3,14	4930
ФСУ-2,6-6	2,6	5,3	5205
ФСУ-3,0-6	3,0	7,1	5470
ФСУ-3,4-6	3,4	9,1	5740

Окончательно принимается количество рабочих и резервных фильтров.
Высота угольной загрузки должна быть не менее:

$$H_{\text{у.з.}} = \frac{v_{\text{р.ф.}} \cdot \tau_{\text{у}}}{60}, \text{ м} \quad (5.3)$$

где $\tau_{\text{у}}$ – время прохождения воды через слой угля, принимаемое 10-15 мин.

Высота слоя угля должна быть 2,2-2,8 м.

Концентрация нефтепродуктов в сточной воде после ее доочистки:

$$b_1 = \frac{b \cdot (100\% - 75\%)}{100\%}, \text{ мг / л} \quad (5.4)$$

где b (или C_2) – концентрация нефти после напорной флотации, мг/л;

75% – эффект очистки по нефтепродуктам после фильтра доочистки.

6 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Для улучшения водоотдающих свойств осадков перед механическим обезвоживанием производят их кондиционирование. Наиболее распространено кондиционирование с помощью коагулянтов (соли алюминия, железа) и флокулянтов (полиакриламид).

В условиях промышленных предприятий снижение влажности осадков производят в основном на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах и центрифугах. Расчет и основные технологические характеристики приведен в [6].

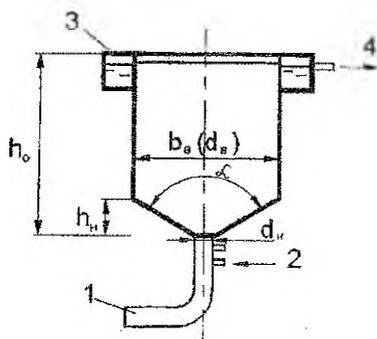
7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НЕКОТОРЫХ СООРУЖЕНИЙ И РЕАГЕНТНЫХ ХОЗЯЙСТВ

7.1 Расчёт вертикального (вихревого) смесителя

Для равномерного распределения реагента в объёме обрабатываемой воды перед водоочистными сооружениями устанавливаются смесительные устройства.

При расчете смесителей время смешивания принимается не более двух минут. Смесители должны иметь не менее двух отделений.

Вертикальный (вихревой) смеситель представляет собой круглый или квадратный (в плане) резервуар с конической или пирамидальной нижней частью. Вертикальные смесители, независимо от производительности станции, применяются в случае использования в качестве реагента известкового молока. Этот тип смесителя обеспечивает наиболее полное растворение частиц извести.



1 – подача исходной воды; 2 – подача реагентов;
3 – сборный желоб; 4 – отвод воды, смешанной с реагентами
Рисунок – 9 Схема вихревого смесителя

Смесителей должно быть не менее 2-х. Расход на каждый из них составляет $Q_{см} = Q_{час}/2$, м³/ч.

Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя:

$$f_n = \frac{Q_{см}}{V_n \cdot 3600}, \text{ м}^2 \quad (7.1)$$

где $Q_{час}$ – часовой расход воды, м³/час;

V_n – скорость восходящего движения воды, на выходе из смесителя $V_n = 30-40$ мм/с, принимаем $V_n = 0,035$ м/с;

Верхняя часть смесителя квадратная в плане, тогда сторона её будет иметь размер:

$$b_n = \sqrt{f_n}, \text{ м} \quad (7.2)$$

Диаметр подводящего трубопровода определится по формуле:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot q_{см}}{\pi \cdot v_{подв} \cdot 3600}}, \text{ м} \quad (7.3)$$

где $V_{подв}$ – скорость подвода воды в нижнюю часть смесителя, м/с, принимается $V_{подв} = 1,2-1,5$ м/с.

Стороны нижней части смесителя принимаем равной диаметру подводящего трубопровода. $D = b_n$, мм, тогда площадь нижней части равна:

$$f_n = b_n^2, \text{ м}^2 \quad (7.4)$$

Высота нижней (пирамидальной) части смесителя при угле конусности $\alpha = 40^\circ$ определяется по формуле:

$$h_n = 0,5 \cdot (b_n - b_n) \cdot \text{ctg} \frac{\alpha}{2}, \text{ м} \quad (7.5)$$

где b_n, b_n – размеры сторон в верхней и нижней частях смесителя, м.

Объем пирамидальной части смесителя:

$$W_n = \frac{1}{3} \cdot h_n \cdot (f_n + f_n + \sqrt{f_n \cdot f_n}), \text{ м}^3 \quad (7.6)$$

где f_n, f_n – площади сечения в верхней и нижней частях смесителя, м.

Полный объем смесителя:

$$W = \frac{Q_{\text{зас}} \cdot t}{60}, \text{ м}^3 \quad (7.7)$$

где t – продолжительность смешения реагента с массой воды, принимается равной 1-2 мин.

Объем верхней части смесителя:

$$W_B = W - W_n, \text{ м}^3 \quad (7.8)$$

Высота верхней части смесителя:

$$h_B = \frac{W_B}{f_B}, \text{ м} \quad (7.9)$$

Полная высота смесителя:

$$h_c = h_n + h_B, \text{ м} \quad (7.10)$$

Сбор воды производится в верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия. Скорость движения воды в лотке принимается равной $v_n=0,6$ м/сек.

Для сточных вод содержащих цинк и цианиды принимаем два смесителя: один для смешения с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (удаление цинка), второй – для смешения с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и NaOCl (удаление цианидов). И принимаем 1 резервный смеситель.

7.2 Реактор

Расчет объема реактора ведется только на расход сточных вод; расход добавляемых реагентов в расчет не принимается, так как его величина сравнительно мала и его можно пренебречь.

Необходимое время контакта для реактора-нейтрализатора составляет 5 мин, для реактора-восстановителя - 20 мин.

Для расчетов принимаем $t=20 \text{ мин} = 0,33 \text{ ч}$. Тогда объем реактора будет равен:

$$V_p = 1,3 \cdot Q_{\text{зас}} \cdot t, \text{ м}^3 \quad (7.11)$$

где $Q_{\text{зас}}$ – расход производственных сточных вод, поступающих в реактор, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Принимаем два реактора круглые в плане, находим диаметр, рабочая глубина 1,5-3 м. В реакторах устанавливаем лопастные мешалки с частотой вращения 40 об/мин.

7.3 Корректор pH

Корректор pH используем для корректировки pH воды. Она должна быть в пределах 6,5...8,5.

Расчет размеров корректора ведем из учета пребывания в нем воды в течение 3 мин, тогда его объем равен:

$$V_{pH} = \frac{3}{60} \cdot Q_{\text{час}}, \text{ м}^3 \quad (7.12)$$

Высота принимается равной 1-1,5 м, тогда его диаметр составит:

$$d_{pH} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{pH}}{\pi \cdot h}}, \text{ м} \quad (7.13)$$

Принимается круглый в плане корректора pH – 1 рабочий и 1 резервный. В корректоре pH устанавливаем лопастную мешалку с частотой вращения 40 об/мин.

7.4 Реагентное хозяйство NaOCl

Согласно рекомендациям [4] доза реагента принимается 2,73 мг на 1 мг цианидов.

$$\text{Доза реагента: } D_{\text{NaOCl}} = 2,73 \cdot B, \text{ г/м}^3 \quad (7.14)$$

B – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, мг/л.

Определяем требуемое количество реагента при $a = 80\%$

a – содержание активной части реагента в товарном продукте, %, принимается для NaOCl = 80%

$$G = D_{\text{NaOCl}} \cdot Q_{\text{час}} \cdot 24 \cdot 100/a \cdot 1000, \text{ кг/сут} \quad (7.15)$$

Определяем емкость растворного бака при $\gamma = 1,2 \text{ т/м}^3$.

$$W_{\text{раств.}} = Q_{\text{час}} \cdot 24 \cdot G/10000 \cdot b \cdot \gamma, \text{ м}^3 \quad (7.16)$$

γ – удельный вес насыщенного раствора реагента, т/м³

b – концентрация насыщенного раствора, %, принимается 30%

Принимается не менее двух баков, определяется емкость одного бака, рабочая глубина и размерами в плане.

Определяем емкость расходного бака:

$$W_{\text{расх.}} = W_{\text{раств.}} \cdot b/b_p \text{ м}^3 \quad (7.17)$$

b_p – концентрация рабочего раствора реагента, %, принимается 10%.

Принимается не менее двух баков, определяется емкость одного бака, рабочая глубина и размерами в плане.

Баки дополнительно оборудуются механической мешалкой.

Для дозирования окислителя применяем насос-дозатор:

$$q_{\text{наос}} = \frac{G \cdot 100}{b_p \cdot \gamma_p}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (7.18)$$

7.5 Реагентное хозяйство бисульфита натрия

Согласно рекомендациям [4] доза гидросульфита натрия принимается 5,5 мг NaHSO_3 на 1 мг Cr^{6+} . Таким образом, доза NaHSO_3 составит:

$$D_{\text{NaHSO}_3} = 5,5 \cdot B, \text{ мг/л} \quad (7.19)$$

B – концентрация загрязняющего вещества в сточной воде, мг/л

Требуемое количество реагента определяется по формуле:

$$G = D \cdot Q_{\text{час}} \cdot 24 \cdot 100 / a \cdot 1000, \text{ кг/сут} \quad (7.20)$$

$Q_{\text{час}}$ – расход производственных сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$

где a – содержание активной части реагента в товарном продукте, %, принимается для NaHSO_3 $a = 30\%$.

Емкость растворного бака:

$$W_{\text{раств.}} = Q_{\text{час}} \cdot n \cdot D_{\text{NaHSO}_3} / 10000 \cdot b \cdot \gamma, \text{ м}^3 \quad (7.21)$$

где n – число часов, на которое готовится запас реагента (24 часа);

b – концентрация насыщенного раствора, %, принимается 30%;

γ – удельный вес насыщенного раствора реагента, $\text{т}/\text{м}^3$, принимается 1,32.

Принимается не менее двух баков, определяется емкость одного бака, рабочая глубина и размерами в плане.

Емкость расходных баков:

$$W_{\text{расх.}} = W_{\text{раств.}} \cdot b/b_p, \text{ м}^3 \quad (7.22)$$

где b_p – концентрация рабочего раствора реагента, %, принимается 10%.

Принимается не менее двух баков, определяется емкость одного бака, рабочая глубина и размерами в плане.

8. РАЗРАБОТКА КОМПОНОВОЧНОГО ПЛАНА ЗДАНИЙ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Компеновочный план разрабатывается по размерам сооружений очистки, учитывая следующие основные принципы:

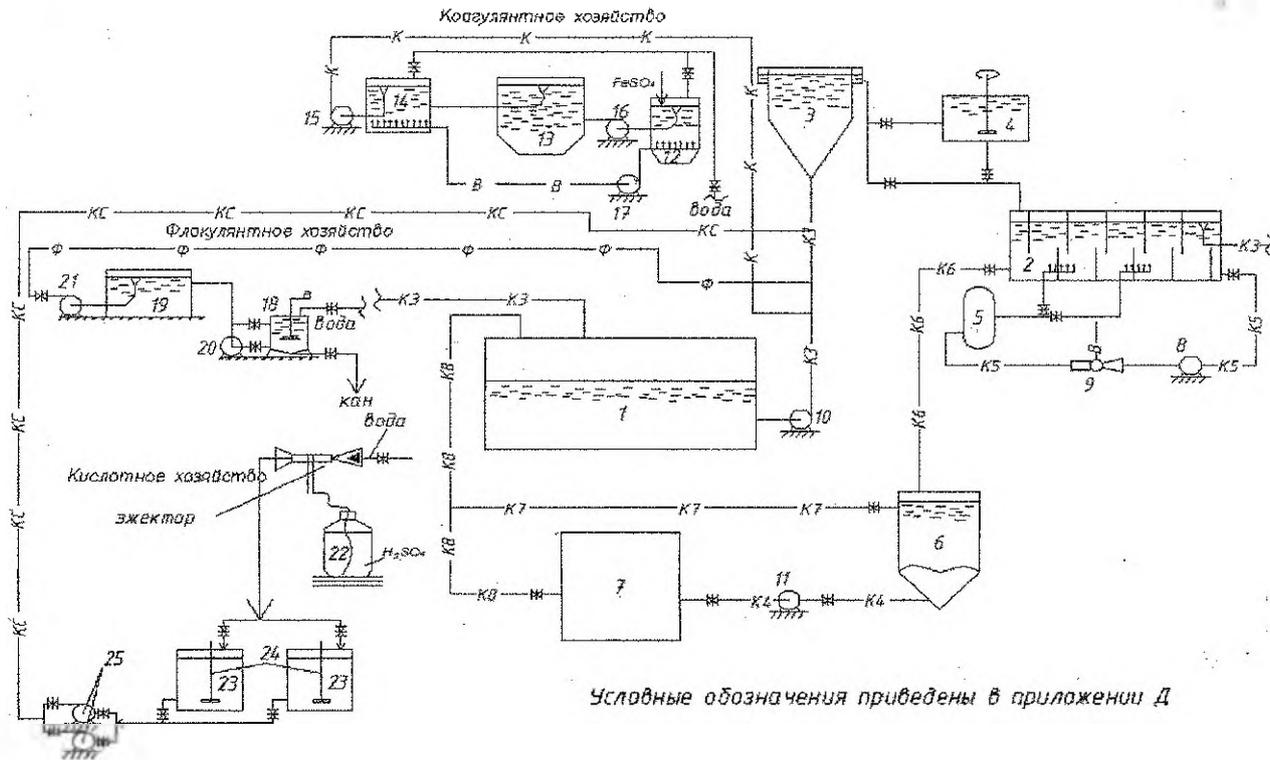
- здание прямоугольное в плане; расстояние между колоннами равно 3,6, 9 м;
- необходимо устройство ворот для подвоза оборудования и реагентов в здание; обеспечение свободного прохода к сооружениям и запорно-регулирующей арматуре; расстояние между рабочим оборудованием рекомендуется принимать не менее 1 м; размещение сооружений в плане должно обеспечивать минимальную протяженность связывающих трубопроводов; каждое реагентное хозяйство необходимо располагать в отдельном помещении; отстойники, флотаторы, усреднители рекомендуется располагать на улице (в насыпи).

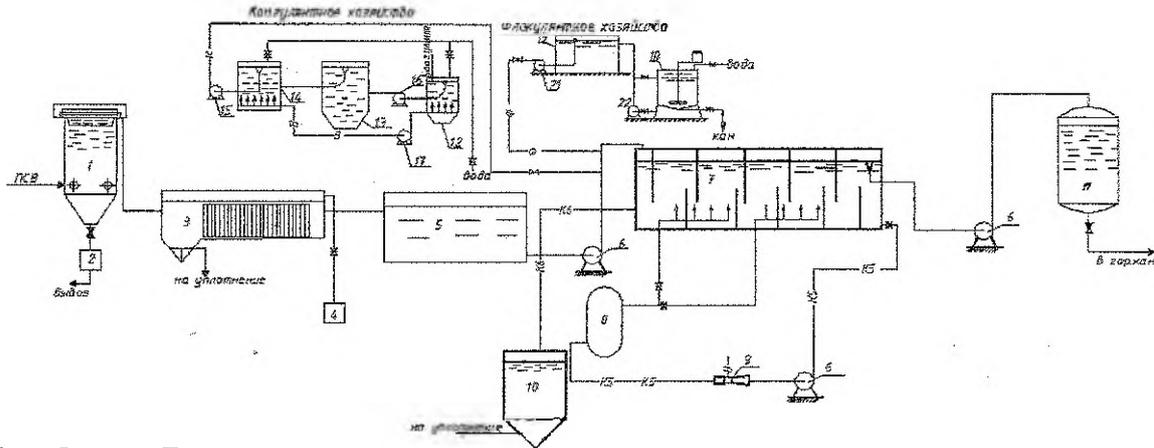
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукиных, А.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. Справочное пособие. / А.А.Лукиных, Н.А.Лукиных. – М.: Стройиздат, 1987. – 152 с.
2. Генеральные планы промышленных предприятий. Нормы проектирования: СНиП II -89-80. – М.: Стройиздат, 1981. – 33с.
3. Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий» для студентов специальности 1-700403 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» / В.В.Мороз, Т.И.Акулич – Брест: БрГТУ, 2012.
4. ТКП 45-4.01-202-2010 (02250) очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования.
5. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. В.Н.Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
6. Методические указания для выполнения практических занятий по дисциплине «Оборудование сооружений по очистке природных и сточных вод» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» / Т.И. Акулич, Л.Н.Власюк – Брест: БрГТУ, 2011.
7. Ласков, Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений / Ю.М.Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. – Москва: Стройиздат, 1987. – 566 с.
8. Воронов, Ю.В., Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. Учебник для вузов: - м.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2006 – 704 с.
9. Химия промышленных сточных вод / под. ред. А.В. Рубина Пер. с англ. М.: Химия, 1993. – 360 с.,
10. Воловник, Г.И. Водоотведение промышленных предприятий: учеб. пособие / Г.И. Воловник, Л.Д. Терехов, Е.Л. Терехова. – Хабаровск: Изд. ДВГУПС, 2008. 411 с.
11. Строительные нормы и правила проектирования. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.

Технологическая схема очистки ПСВ (текстильное предприятие)

ПРИЛОЖЕНИЕ А





Условные обозначения:

- 1 - Открытый гидроциклон с диафрагмой
- 2 - Бункер для сбора шлама
- 3 - Танкословная нефтеловушка
- 4 - Нефтесорбник
- 5 - Резервуар-усреднитель
- 6 - Насос подачи СВ
- 7 - Флотатор
- 8 - Сатуратор
- 9 - Эжектор
- 10 - Песколовник
- 11 - Фильтр доочистки

Коагулянтное хозяйство

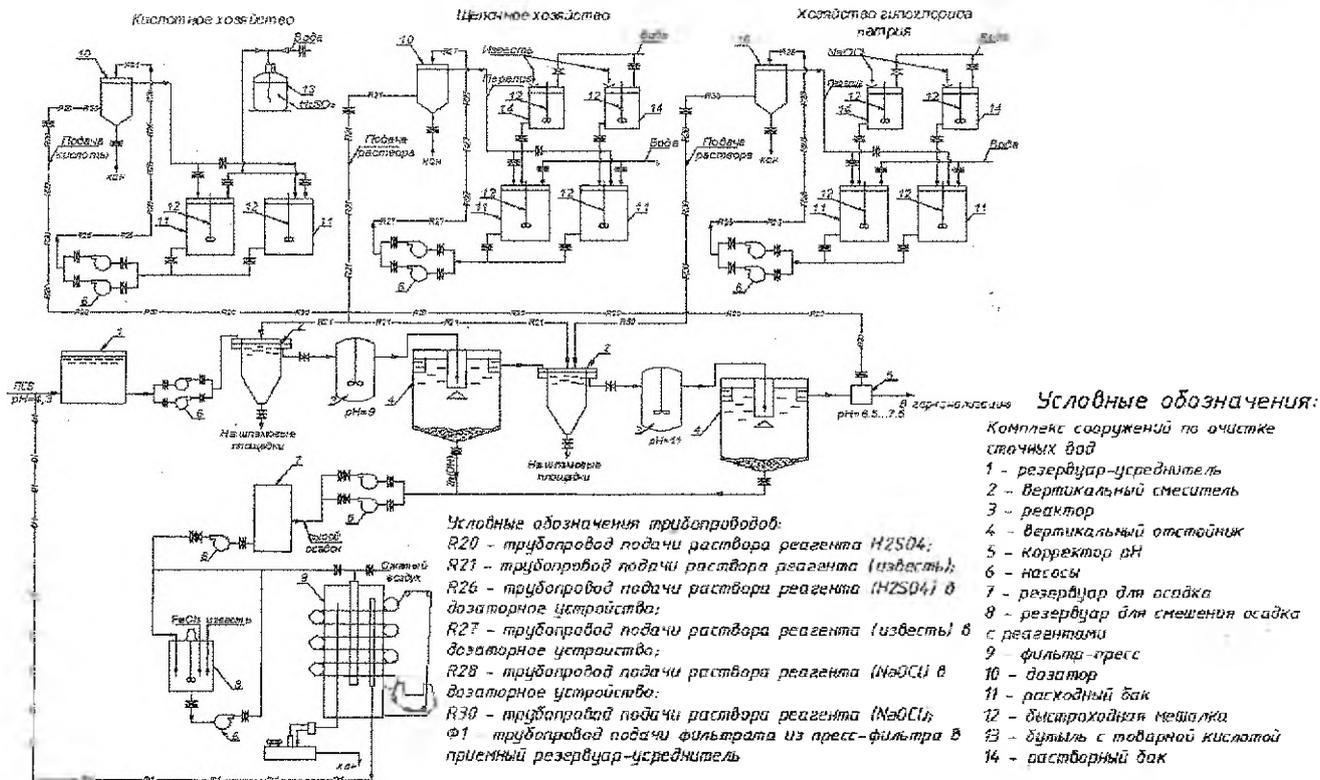
- 12 - растворный бак раствора коагулянта
- 13 - бак-хранилище раствора коагулянта
- 14 - расходный бак раствора коагулянта
- 15 - насос-дозатор раствора коагулянта
- 16 - насос для перекачивания раствора коагулянта
- 17 - воздухозаборка

Флокулянтное хозяйство

- 18 - бак с лопастной мешалкой
- 19 - Расходный бак флокулянта
- 20 - Циркуляционный и перекачивающий насос
- 21 - Насос-дозатор флокулянта

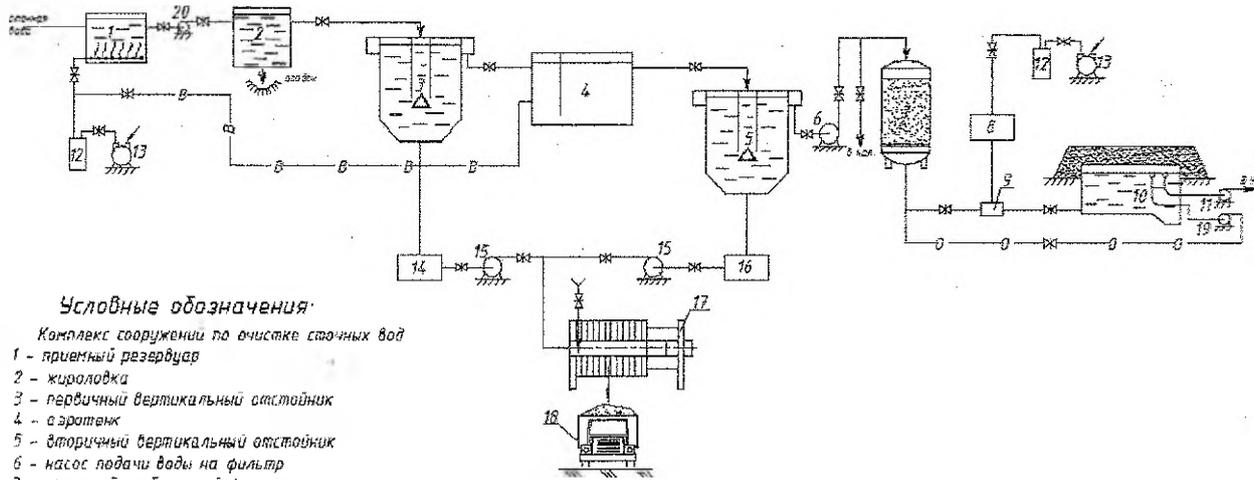
Условные обозначения трубопроводов:

- Ф— трубопровод подачи раствора флокулянта
- К— трубопровод подачи раствора коагулянта
- К5— трубопровод подачи рециркулирующей жидкости
- Б— воздухопровод
- К6— трубопровод флоцшлама



Технологическая схема очистки ПСВ (пищевая промышленность)

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Условные обозначения:

Комплекс сооружений по очистке сточных вод

- 1 - приемный резервуар
- 2 - жироловка
- 3 - первичный вертикальный отстойник
- 4 - аэротанк
- 5 - вторичный вертикальный отстойник
- 6 - насос подачи воды на фильтр
- 7 - напорный горизонтальный фильтр
- 8 - озонаторная
- 9 - контактная камера
- 10 - резервуар чистой воды
- 11 - насос подачи сточной воды в городской коллектор
- 12 - бак-раствор
- 13 - воздухоподъем
- 14 - колодец сбора осадка из первичных отстойников
- 15 - насос подачи сточных вод на фильтр-пресс
- 16 - колодец сбора осадка из вторичных отстойников
- 17 - фильтр-пресс
- 18 - машина для вывоза осадка
- 19 - насос подачи чистой воды на подпитку фильтра
- 20 - насос подачи сточной воды на сооружения

Условные обозначения трубопроводов:

- 3 — трубопровод производственной канализации
- 2 — воздухопровод
- 0 — трубопровод подачи осветленной воды

Условные обозначения:

- 1 - Резервуар усреднитель
- 2 - Флотатор
- 3 - Смеситель
- 4 - Камера хлопьевобразования
- 5 - Сатуратор
- 6 - Пеносборник
- 7 - Фильтр-пресс
- 8 - Рециркуляционный насос
- 9 - Эжектор
- 10 - Насос подачи СВ на очистку
- 11 - Насос подачи осадка на фильтр-пресс

Коагулянтное хозяйство

- 12 - растворный бак раствора коагулянта
- 13 - бак-хранилище раствора коагулянта
- 14 - расходный бак раствора коагулянта
- 15 - насос-дозатор раствора коагулянта
- 16 - насос для перекачивания раствора коагулянта
- 17 - воздушодувка

Флокулянтное хозяйство

- 18 - бак с лопастной мешалкой
- 19 - Расходный бак флокулянта
- 20 - Циркуляционный и перекачивающий насос
- 21 - Насос-дозатор флокулянта

Условные обозначения трубопроводов:

- ю — трубопровод производственной канализации
- ф — трубопровод подачи раствора флокулянта
- кс — трубопровод подачи уплотненного осадка
- кз — трубопровод подачи рециркулирующей жидкости
- в — воздухопровод
- жб — трубопровод флокулянта
- жт — трубопровод отстоянной воды
- жд — трубопровод фильтра
- к — трубопровод подачи раствора коагулянта

Кислотное хозяйство

- 22 - Емкость для хранения концентрированной кислоты
- 23 - Расходный бак кислоты
- 24 - Быстроходная мешалка
- 25 - Насос-дозатор кислоты

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1 – Эффективность удаления загрязняющих веществ на очистных сооружениях населенного пункта

Вещество	Лимитирующий признак вредности	Эффективность удаления на ОС биохимической очистки (А), %	ПДК в воде водного объекта, мг/л
1	2	3	4
При сбросе очищенных сточных вод в водный объект хозяйственно-питьевого пользования			
Анилин	санитарно-токсикологический	95	0,1
Кадмий	---//---	60	0,001
Кобальт	---//---	50	0,1
Метанол	---//---	95	3,0
Мышьяк	---//---	50	0,05
Никель	---//---	50	0,1
Нитробензол	---//---	85	0,2
Тоимочевина	---//---	50	0,3
Цианиды	---//---	70	0,1
Формальдегид	---//---	80	0,03
Ацетон	общесанитарный	95	2,2
Капролактam	---//---	95	1,0
Молочная кислота	---//---	100	0,7
Уксусная кислота	---//---	100	1,2
Цинк	---//---	70	1,0
Алкомон ОС-20	органолептический	45	0,5
Железо Fe ³⁺	---//---	80	0,3
Медь	---//---	80	1,0
Нефть и нефтепродукты	---//---	85	0,3
СПАВ:			
анионные	---//---	80	0,5
неионогенные		80	0,1
Фенол	---//---	85	0,001
Хром Cr ⁶⁺	---//---	80	0,5
Жиры	---//---	70	норм. по БПК
При сбросе очищенных сточных вод в водный объект рыбохозяйственного водопользования			
Анилин	токсикологический	95	0,0001
Кадмий	---//---	60	0,005
Кобальт	---//---	50	0,01
Медь	---//---	80	0,001
Мышьяк	---//---	50	0,05
Никель	---//---	50	0,01
Уксусная кислота	---//---	95	0,01
Формальдегид	---//---	80	0,05
Цианиды	---//---	70	0,05
Цинк	---//---	70	0,01
Нефть и нефтепродукты	---//---	85	0,05

Таблица 2 – Концентрация некоторых веществ, максимально допустимых для биохимической очистки (С_{БОО})

Вещество	Концентрация, мг/л	Вещество	Концентрация, мг/л
1	2	3	4
Алкомон ОС-20	10	Красители сернист.	25
Алюминий	3	Красители синтетич.	25
Анилин	6	Медь	0,5
Ацетон	20	Метанол	30
Бутиловый спирт	20	Мышьяк	0,1
Железо	5	Нефть и нефтепродукты	25
Жиры	50	Никель	0,5
Кадмий	0,1	СПАВ: анионные	20
Капролактам	25	СПАВ: неионогенные	50
Кобальт	1	Хром Cr ³⁺	2,5
	1	Хром Cr ⁶⁺	0,1
Крезол	100	Цинк	1

Таблица 3 – Эффективность некоторых способов очистки промышленных сточных вод

Способ очистки	Характер примеси	Эффект очистки, %
Отстаивание безреагентное	Грубодисперсные примеси (ГДП)	30–50
То же при реагентной обработке	ГДП и коллоиды	50–70
Разделение в безнапорных гидроциклонах	ГДП	40–60
То же в напорных гидроциклонах	ГДП	50–65
Флотация	ГДП	40–65
То же при реагентной обработке	ГДП и коллоиды	50–80
Фильтрация	ГДП	50–80
То же после реагентной обработки	ГДП и коллоиды	70–90
Адсорбция	Молекулярные примеси	85–98
Экстракция	Молекулярные примеси	85–98
Мембранные технологии	Ионные и коллоидные примеси	65–95
Ионный обмен, электродиализ	Ионные примеси	80–90

Таблица 4 – Рекомендуемая доза ила

Цель очистки	Доза ила, г/дм ³	
	Сооружения без предварительного отстаивания	Сооружения с предварительным отстаиванием
Очистка без нитрификации	3,5-4,5	2,5-3,5
Очистка с нитрификацией и денитрификацией	3,5-4,5	2,5-3,5
Очистка с нитрификацией, денитрификацией и стабилизацией ила	4,0-5,0	-
Удаления фосфора с одновременным осаждением реагентами	4,0-5,0	3,5-4,5

Таблица 5 – Показатели для расчета азротенка - смесителя без регенераторов

Сточные воды	ρ_{max} , МГ	K_1 , МГ	K_0 , МГ	Φ , дм ³ /г	s
	БПК ₅ /г·ч)	БПК ₅ /дм ³	О ₂ / дм ³		
Городские	57	22	0,625	0,07	0,3
Производственные:					
а) нефтелерерабатывающих заводов:					
I система	22	2	1,81	0,17	—
II "	39	16	1,66	0,158	—
б) азотной промышленности	93	6	2,4	1,11	—
в) заводов синтетического каучука	53	20	0,6	0,06	0,15
г) целлюлозно-бумажной промышленности:					
сульфатно-целлюлозное произ-водство	433	67	1,5	2	0,16
сульфитно-целлюлозное	467	60	1,6	2	0,17
д) заводов искусственного волокна (вискозы)	60	23	0,7	0,27	—
е) фабрик первичной обработки шерсти:					
I ступень	21	104	—	0,23	—
II "	4	22	—	0,2	—
ж) дрожжевых заводов	155	60	1,66	0,16	0,35
з) заводов органического синтеза	55	133	1,7	0,27	—
и) микробиологической промышленности:					
производство лизина	187	19	1,67	0,17	0,15
" биовита и витамина	1147	111	1,5	0,98	0,12
к) свинокормочных комплексов:					
I ступень	303	37	1,65	0,176	0,25
II "	10	48	1,68	0,171	0,3

Таблица 6 – Определение илового индекса

Сточные воды	Иловый индекс J_i , см ³ /г, при нагрузке на ил q_i , мг/(г·сут)					
	70	130	200	270	330	400
	Городские	130	100	70	80	95
Производственные:						
а) нефтелерерабатывающих заводов	—	120	70	80	120	160
б) заводов синтетического каучука	—	100	40	70	100	130
в) комбинатов искусственного волокна	—	300	200	250	280	400
г) целлюлозно-бумажных комбинатов	—	220	150	170	200	220
д) химкомбинатов азотной промышленности	—	90	60	75	90	120

Научное издание

Составители:

*Наталья Владимировна Левчук
Анна Геннадьевна Новосельцева*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта по дисциплине
**«ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»**

Часть 2 «Водоотведение промышленных предприятий»

для студентов специальности

1 - 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»
специализации

1 - 70 04 03 01 «Системы водоснабжения и водоотведения»

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск: Новосельцева А.Г.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Подписано в печать 12.08.2015 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial Narrow». Усл. печ. л. 2,79. Уч. изд. л. 3,0. Заказ № 853. Тираж 60 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.