

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

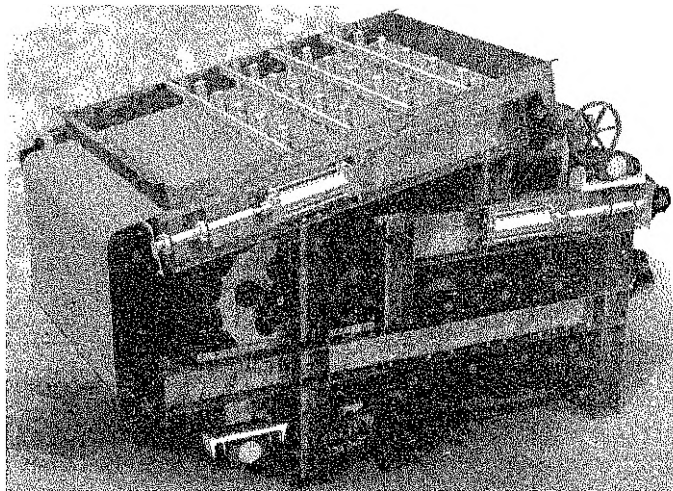
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”**

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

## **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”*



Брест 2020

УДК 628.1

Методические указания подготовлены для студентов специальности 1 - 70 04 03 "Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов", изучающих курс "Оборудование сооружений по очистке природных и сточных вод".

Настоящие указания содержат общие сведения о расчете и подборе оборудования для реагентного хозяйства коагулянта, флокулянта и извести, для обеззараживания воды, приведен расчет и подбор сороудерживающих сеток, гидрозлеваторов и эрлифтов, а также оборудования для сооружений биологической очистки сточных вод и для механического обезвоживания и сушки осадков сточных вод.

Составители: Т. И. Акулич, старший преподаватель  
А. Г. Новосельцева, ассистент  
Д. Д. Сенчук, ассистент

Рецензент: С.А. Новик, главный специалист отдела комплексного проектирования № 2 УП «Институт Брестстройпроект»

## ВВЕДЕНИЕ

Основным средством, с помощью которого осуществляются все технологические процессы, происходящие в сооружениях водоснабжения и водоотведения, является механическое оборудование, поэтому от его технического уровня зависит общий уровень и экономичность работы систем водоснабжения и водоотведения.

Настоящие методические указания посвящены вопросам расчета и подбора оборудования сооружений водоснабжения, водоотведения, реагентных хозяйств и оборудования для обеззараживания воды и предназначены для студентов специальности 1-70 04 03 "Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов".

Методические указания рекомендованы к использованию при проведении практических занятий, а также при выполнении курсового проекта по дисциплине "Оборудование сооружений по очистке природных и сточных вод".

Методические указания содержат общие сведения о расчете и подборе оборудования для реагентного хозяйства коагулянта, флокулянта и извести, для обеззараживания воды, приведен расчет и подбор сородерживающих сеток, гидроэлеваторов и эрлифтов, а также оборудования для сооружений биологической очистки сточных вод и для механического обезвоживания и сушки осадков сточных вод.

Методические указания могут быть использованы при выполнении дипломных проектов студентами специальности 1-70 04 03 "Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов".

### 1 УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ АРМАТУРЫ НА ЧЕРТЕЖАХ И В ДОКУМЕНТАХ. ВЫБОР ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Обозначение условное и графическое трубопроводной арматуры выполняется по ГОСТ 21.205-93. Графические обозначения трубопроводной арматуры и элементов трубопроводов приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Графическое обозначение

Наименование		Графическое обозначение
Клапан (вентиль) запорный:	проходной	
	угловой	
	трехходовой	
Клапан обратный	прямой	
	угловой	
Клапан (вентиль) регулирующий:	проходной	
	угловой	
Клапан предохранительный:	проходной	
	угловой	
Задвижка		
Кран	проходной	
	угловой	
	трехходовой	
Смеситель	общее обозначение	
	с душевой сеткой	
Вставка амортизационная		

### Условное циферно-буквенное обозначение арматуры

В каталогах на арматуру, в номенклатуре заводов-изготовителей и прейскурантах применяют определенную систему условных обозначений, содержащую 5 циферно-буквенных обозначений, расположенных последовательно.

1. Тип арматуры (состоит из двух цифр).
2. Материал, из которого изготовлен корпус (буквы).
3. Вид привода (если отличается от ручного).
4. Номер модели по каталогу (одна или две цифры – номер модели, а при наличии трех цифр: первая – вид привода, а две последующие – номер модели).
5. Материал уплотнительных поверхностей или способ нанесения внутреннего покрытия корпуса арматуры.

Расшифровка циферно-буквенных обозначений представлена в таблице 1.2.

**Задача №1.1** По приведенному циферно-буквенному обозначению арматуры написать характеристики арматуры: **16кч11р, 30с564нж, 30ч906бр, 15с916нж, 32ч910р, 30ч715бр, 19ч16р**

Для облегчения распознавания отдельных характеристик арматуры принята условная окраска:

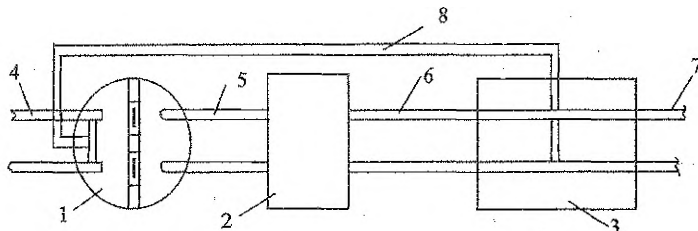
- 1) материал корпуса: сталь углеродистая – серый;  
легированная – синий;  
коррозионно-стойкая – голубой;  
чугун серый и ковкий – черный;

арматура из цветных металлов и пластмасс – не окрашивается;

2) материал уплотнительных поверхностей запорных органов (наносится на маховики, рукоятки, колпаки, рычаги):

- бронза, латунь – красный;
- нержавеющая сталь – голубой;
- баббит – желтый;
- резина – коричневый;
- эбонит – зеленый.

**Задача №1.2** Назначить и начертить необходимую арматуру для правильного функционирования руслового водозабора из поверхностного источника и камеры переключений для обеспечения следующих режимов работы: работа в две линии и в одну линию (вторая на промывке) и промывка каждой линии в отдельности.



- 1 – береговой колодец; 2 – насосная станция 1 подъема; 3 – камера переключений;  
4 – самотечный трубопровод; 5 – всасывающий трубопровод;  
6 – напорный трубопровод; 7 – подача потребителю; 8 – обводная напорная линия для промывки самотечной линии.

**Рисунок 1.1 – Русловой водозабор**

Таблица 1.2 – Циферно-буквенные обозначения арматуры

Тип арматуры		Материал корпуса		Вид привода		Материал уплотнительных поверхностей		Способ нанесения внутреннего покрытия корпуса	
1		2		3		4		5	
10	Кран пробно-спусковой	Сталь:		Механический с передачей:		бр	Бронза, латунь	гм	Гуммирование
11	Кран для трубопровода	с	- углеродистая	3	- червячной	мн	Монель-металл	эм	Эмалирование
12	Запорное устройство указателя уровня	лс	- легированная	4	- цилиндрической	Сталь:		св	Свинцевание
13, 14, 15	Клапан запорно-регулирующий (вентиль)	нж	- коррозионно-стойкая	5	- конической	нт	- нитрированная	Футерование:	
16	Клапан обратный подъемный	Чугун:		6	Пневматический	нж	- коррозионно-стойкая	п	- пластмассой
17	Клапан предохранительный	ч	- серый	7	Гидравлический	бт	Баббит	н	- наиритом
19	Клапан обратный поворотный	кч	- ковкий	8	Электромагнитный	ст	Стеллит		
21	Регулятор давления	бр	Бронза, латунь	9	Электрический	э	Эбонит		
22	Клапан запорный	а	Алюминий			р	Резина		
25	Клапан регулирующий	вл	Поливинилхлорид			к	Кожа		
27	Клапан смесительный	п	Пластмассы			вл	Поливинилхлорид		
30, 31	Задвижка	к	Фарфор (керамика)			фт	Фторопласт		
32	Затвор	тн	Титан			бк	Без уплотнительных колец		
		ск	Стекло						

Пример: 15кч8775р – вентиль магнитный с электромагнитным приводом модели 77, корпус из ковкого чугуна и с уплотнительным кольцом из бронзы

## 2. РАСЧЕТ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРОВ РЕАГЕНТОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ СКЛАДОВ РЕАГЕНТОВ

Реагентные хозяйства представляют собой сложный комплекс помещений, различного оборудования и устройств, предназначенных для приема, разгрузки, складирования и приготовления растворов, дозирования и ввода в обрабатываемую среду различных реагентов нужной концентрации и объема.

### 2.1 Расчет и подбор оборудования реагентного хозяйства коагулянта

#### 2.1.1 Технические продукты, используемые в качестве коагулянтов

Основные характеристики реагентов, которые используются в качестве коагулянтов, представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Основные характеристики реагентов

№ п/п	Наименование	Вид поставки	Химическая формула	Содержание активного вещества по $Al_2O_3$ , %	Содержание чистого реагента в товарном продукте, %
1	Сульфат алюминия технический (очищенный)	Навалом	$Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$	высший сорт — 16,0 1 сорт — 16,0 2 сорт — 15,0	53,6-50 % чистого безводного $Al_2(SO_4)_3$
2	Глинозем сернокислый неочищенный марки БМ	Навалом	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	10,6	не менее 35,5 % чистого безводного $Al_2(SO_4)_3$
3	Полгидрохлорид алюминия Аква-Аурат™ 10 Аква-Аурат™ 14 Аква-Аурат™ 18 Аква-Аурат™ 30	Железнодорожные цистерны для перевозки соляной кислоты, автоцистерны, полиэтиленовые бочки, контейнеры	$[Al(OH)_nCl] \cdot nH_2O$	10,0±0,6 13,6±0,5 17,0±0,5 30	-
4	Оксид алюминия (ОХА) 35 %-ый раствор	Бочки 200 л	$[Al(OH)_3Cl] \cdot 6H_2O$	40-44	-
5	Купорос железный технический (железа (II) сульфат гептагидрат)	Полипропиленовые мешки по 50 кг, МКР по 900-1000 кг	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	-	1 сорт — 53,0 2 сорт — 47,0 (по $FeSO_4$ )
6	Коагулянт железный (сульфат железа (III))		$Fe_2(SO_4)_3$	-	не менее 40 % чистого безводного $Fe_2(SO_4)_3$
7	Хлорное железо (хлорид железа (III))	Стальные герметичные барабаны емкостью 100 л	$FeCl_3$	-	не менее 95-97,3 % $FeCl_3$

### 2.1.2 Определение дозы коагулянта

В водоподготовке для осветления и обесцвечивания природных вод расчетные дозы реагентов следует устанавливать на основании данных инженерных изысканий для различных периодов года в зависимости от качества исходной воды и корректировать в период наладки и эксплуатации сооружений.

Для предварительных расчетов доза коагулянта,  $D_k$ , мг/л, в расчете на  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$  (по безводному продукту) определяется:

- при обработке для снижения мутности воды — по таблице 2.2,
- при обработке для снижения цветности воды — по формуле:

$$D_k = 4 \cdot \sqrt{C}, \text{ мг / л,} \quad (2.1)$$

где  $C$  — цветность обрабатываемой воды, град.

При одновременном содержании в воде взвешенных веществ и наличии цветности принимают большее из значений доз коагулянта, указанных в таблице 2.2 и определяемых по формуле (2.1).

При использовании процесса контактной коагуляции непосредственно в фильтрующей загрузке фильтров дозу коагулянта следует принимать меньше на 10 % – 15 %, чем указано в таблице 2.22 и (или) определено по формуле (2.1).

Таблица 2.2 – Доза коагулянта в зависимости от мутности воды

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод $D_k$ , мг/л
Св. 100 " До 100 включ.	25–35
" 200 " 200 "	30–40
" 200 " 400 "	35–45
" 400 " 600 "	45–50
" 600 " 800 "	50–60
" 800 " 1000 "	60–70
" 1000 " 1500 "	70–80

#### Примечания.

1. Меньшие значения доз относятся к воде, содержащей грубодисперсную взвесь.
2. Допускается применение других коагулянтов, кроме указанных в 2.1.2, в том числе полимерных, дозы которых необходимо устанавливать на основании технологических исследований с учетом рекомендаций производителя.

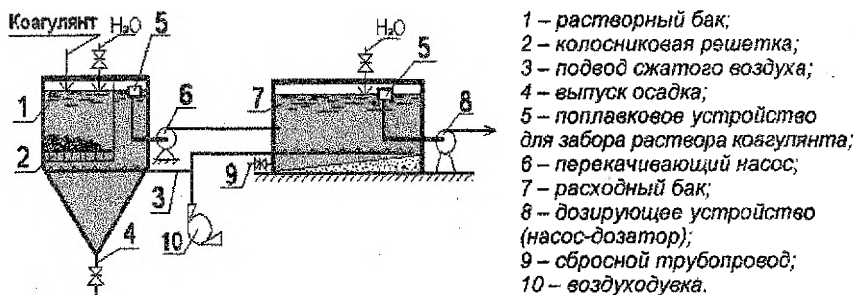
Расчет количества коагулянта, требуемого для механического обезвоживания осадка, приведен в п. 9.2.2 данных методических указаний.

### 2.1.3 Технологические схемы

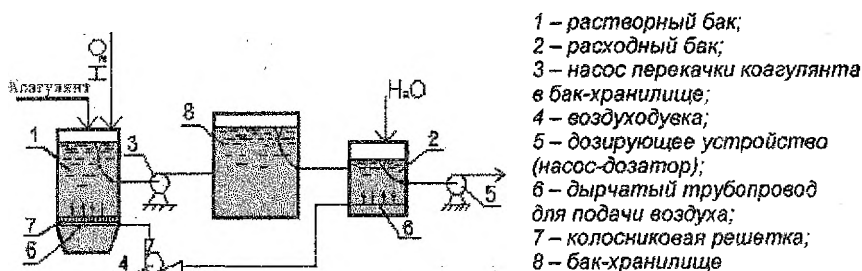
В современной технологии наиболее часто применяются две основные схемы приготовления коагулянта: схема с "сухим" хранением реагента и схема с "мокрым" хранением реагента.

В схеме с "мокрым" хранением коагулянта допускается устраивать растворно-хранилищные баки, что позволяет уменьшить количество емкостей и оборудования, сократить длину трубопроводов и затраты на электроэнергию.

Схема с "сухим" хранением реагента представлена на рисунке 2.1. Схема с "мокрым" хранением коагулянта представлена на рисунке 2.2.



**Рисунок 2.1 – Схема приготовления раствора коагулянта с "сухим" хранением реагента**



**Рисунок 2.2 – Схема приготовления раствора коагулянта с "мокрым" хранением реагента**

#### 2.1.4 Определение емкостей растворных, расходных баков и баков-хранилищ

Емкости растворных, расходных баков раствора коагулянта при принятой схеме сухого хранения определяются в следующей последовательности:

1. Емкость растворного бака  $W_p$ , м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

а) для станций водоподготовки:

$$W_p = \frac{Q_{\text{час}} \cdot \rho \cdot D_k}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma}, \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

б) при механическом обезвоживании осадков:

$$W_p = \frac{P_r \cdot 100}{b_p \cdot \gamma}, \text{ м}^3, \quad (2.3)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – полный расход воды, с учетом расхода воды на собственные нужды, м<sup>3</sup>/час;

$D_k$  – доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, г/м<sup>3</sup>;

$b_p$  – концентрация раствора в растворном баке, %, согласно [1] следует принимать: до 17 % – для неочищенного, до 20 % – для очищенного кускового, до 24 % – для очищенного гранулированного;

$\gamma$  – объемный вес коагулянта, т/м<sup>3</sup>, принимается в зависимости от концентрации раствора по таблице 2.3;



$n$  – число часов работы станции, на которое заготавливается раствор коагулянта от одного затворения, ч, для станций производительностью до 10000 м<sup>3</sup>/сут принимают при круглосуточной работе  $n = 12 - 24$  ч (при некруглосуточной работе станции  $n$  равно числу часов работы станции в течение суток); для станций производительностью от 10000 до 50000 м<sup>3</sup>/сут.  $n = 8 - 12$  ч; более 50000 м<sup>3</sup>/сут. –  $n = 6 - 8$  ч; для станций производительностью более 100000 м<sup>3</sup>/сут. можно предусматривать непрерывную заготовку раствора коагулянта, принимая  $n = 3$  ч.

$P_m$  – расход реагента для коагулирования осадков городских сточных вод по товарному продукту, т/сут., определяемый по формуле (9.11).

Таблица 2.3 – Удельные веса водных растворов коагулянтов в зависимости от процентного содержания

Вещество	Т, °С	Удельный вес, т/м <sup>3</sup> , при концентрации, % по массе							
		1	2	4	6	8	10	20	30
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	15	1,017	1,027	1,047	1,067	1,087	1,1071	-	-
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	19	1,009	1,019	1,040	1,060	1,083	1,105	1,226	1,333 (28%)
FeCl <sub>3</sub>	20	1,007	1,015	1,032	1,049	1,067	1,085	1,182	1,291
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	17,5	1,007	1,016	1,033	1,050	1,067	1,084	1,181	1,307
FeSO <sub>4</sub>	18	1,008	1,018	1,037	1,057	1,078	1,100	1,213	-

Количество растворных баков должно быть не менее трех. Размеры принимаются конструктивно.

Дно растворных баков при применении кускового коагулянта следует устраивать в виде съемной колосниковой решетки с прозорами 10 – 15 мм. При применении гранулированного или порошкообразного коагулянта на колосниковой решетке необходимо предусматривать сетку из кислотостойкого материала с отверстиями размером 2 мм.

Растворные баки для неочищенного коагулянта необходимо проектировать в нижней части с наклонными стенками под углом 45° к горизонтали, за исключением случаев, когда подколосниковая часть баков оснащена системой гидросмыва осадка, а также при одновременной подаче сжатого воздуха. В таких случаях угол наклона стенок баков допускается снижать до 25°.

Растворные баки для очищенного коагулянта необходимо проектировать в нижней части с наклонными стенками под углом 15° к горизонтали.

При применении в качестве коагулянта сухого хлорида железа в верхней части растворного бака следует предусматривать колосниковую решетку. Баки следует размещать в изолированном помещении с вытяжной вентиляцией.

Баки оборудуются трубопроводами подачи воды, переливным и сбросным трубопроводами. Для опорожнения баков и сброса осадка следует предусматривать трубопроводы диаметром не менее 200 мм.

## 2. Емкость расходных баков:

$$W = \frac{W_p \cdot b_p}{b}, \text{ м}^3, \quad (2.4)$$

где  $b$  – концентрация раствора в расходном баке, %, для станций водоподготовки следует принимать до 12 %; при механическом обезвоживании осадка следует принимать 10 %.

Количество расходных баков должно быть не менее двух. Размеры принимаются конструктивно.

Баки оборудуются трубопроводами подачи воды, переливным и сбросным трубопроводами. Днище расходных баков следует предусмотреть с уклоном более 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром не менее 200 мм.

3. Емкость баков-хранилищ при схеме "мокрого" хранения коагулянта определяется в следующей последовательности:

а) для станций водоподготовки:

1. Определяется расход товарного продукта (коагулянта),  $P$ , т, из условия его хранения в баках-хранилищах в течение определенного количества суток -  $T$  (исходя из условий поставки и производительности станции  $T$  принимается 10 - 30 суток)

$$P = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_k \cdot 100 \cdot T}{1000 \cdot 1000 \cdot C}, \text{ т}, \quad (2.5)$$

где  $C$  - содержание безводной активной части в товарном продукте коагулянта, %, принимается по таблице 2.1;

2. Определяется объем концентрированного раствора, получаемого при растворении расчетного количества коагулянта:

$$W = \frac{P \cdot 100}{b_p \cdot \gamma}, \text{ м}^3, \quad (2.6)$$

где  $\gamma$  - удельный вес раствора коагулянта концентрацией  $b_p$ , т/м<sup>3</sup>, принимается по таблице 2.3;

3. Принимается расчетное количество баков-хранилищ  $N$  (должно быть не менее 4-х, на 10 баков предусматривается 1 резервный) и определяется объем одного бака:

$$W_1 = \frac{W}{N}, \text{ м}^3, \quad (2.7)$$

б) при механическом обезвоживании осадков:

1. Определяется общий объем баков-хранилищ:

$$W_{\text{общ}} = W_p \cdot T, \text{ м}^3, \quad (2.8)$$

где  $T$  - время хранения раствора реагента, сут., исходя из условий поставки и производительности очистных сооружений принимается 15 - 20 суток.

2. Принимается расчетное количество баков-хранилищ  $N$  (должно быть не менее 4-х, на 10 баков предусматривается 1 резервный) и определяется объем одного бака:

$$W_1 = \frac{W_{\text{общ}}}{N}, \text{ м}^3. \quad (2.9)$$

Размеры баков-хранилищ назначаются конструктивно. Размеры прямоугольных емкостных сооружений следует принимать кратными 3 м, а по высоте - кратными 0,6 м. При длине стороны до 9 м, а также емкостных сооружений, встроенных в здания, допускается принимать размеры сооружения кратными 1,5 м.

Днище баков-хранилищ следует предусмотреть с уклоном более 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром не менее 200 мм.

Внутреннюю поверхность баков необходимо защищать кислотостойкими материалами.

### 2.1.5 Интенсификация процессов растворения и перемешивания раствора коагулянта

Интенсификация процессов растворения коагулянта и перемешивания раствора в растворных и расходных баках предусматривается путем барботированием сжатым воздухом или перемешиванием раствора в баках с помощью мешалки.

Расчет и подбор оборудования для подачи сжатого воздуха приведен в пункте 4 данных методических указаний.

Для перемешивания раствора механическим способом применяют аппараты с перемешивающими устройствами, технические характеристики которых представлены в табл. 2.7 данных методических указаний, а также в табл. 5.1 и 5.2 [2] и в табл. III.6 и III.7 [3].

Следует отметить, что способ перемешивания раствора коагулянта сжатым воздухом по сравнению со способом перемешивания механическими мешалками обладает преимуществом ввиду его большей простоты.

**Задача №2.1** Определить емкости растворного и расходного баков при схеме «сухого» хранения коагулянта сульфата алюминия очищенного. Расчетный расход воды  $Q_{сут.} = 20000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , мутность воды 500 мг/л, цветность 30 градусов.

**Задача №2.2** Определить емкости растворного, расходного баков и баков-хранилищ при «мокром» хранения коагулянта сульфата железа (III). Расчетный расход воды  $Q_{сут.} = 85000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , мутность воды 900 мг/л, цветность 40 градусов.

## 2.2 Расчет и подбор оборудования реагентного хозяйства извести

### 2.2.1 Технические продукты, используемые в качестве реагента для подщелачивания воды

В качестве подщелачивающих реагентов используют известь или кальцинированную соду. На станциях водоподготовки хоз.-питьевой воды и на очистных сооружениях водоотведения для обработки осадков используется гашеная и негашеная воздушная известь (гидроксид и оксид кальция) ГОСТ 9179-2018.

Качество товарного продукта представлено в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Качество товарного продукта извести кальциевой

Известь кальциевая	Содержание активных CaO и MgO, %, не менее	Известь кальциевая	Содержание активных CaO и MgO, %, не менее	
Негашеная комовая (кипелка) и негашеная молотая	90	Гашеная гидратная (пушонка)	67	
		I сорт		
		II сорт	60	
I сорт	80	Тесто известковое	I сорт	67
			II сорт	60
			III сорт	50
II сорт	80			
III сорт	70			

### 2.2.2 Определение дозы реагента

Дозу подщелачивающего реагента,  $D_{щ}$ , мг/л, необходимого для улучшения процесса хлопьеобразования, надлежит определять по формуле:

$$D_{щ} = K_{щ} \left( \frac{D_k}{e_k} - \text{Щ}_0 + 1 \right), \text{ мг / л,} \quad (2.10)$$

где  $D_k$  – максимальная, в период подщелачивания доза безводного коагулянта, мг/л;

$e_k$  – эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/ммоль, принимаемая для  $Al_2(SO_4)_3$  - 57,  $FeCl_3$  - 54,  $Fe_2(SO_4)_3$  - 67;

$K_{щ}$  – коэффициент, принимаемый для извести (по  $CaO$ ) - 28, для соды (по  $Na_2CO_3$ ) - 53;

$\text{Щ}_0$  – минимальная щелочность воды, ммоль/л.

В тех случаях, когда получается отрицательное значение дозы подщелачивающего реагента, т. е.  $D_{щ} < 0$ , то подщелачивания воды не требуется.

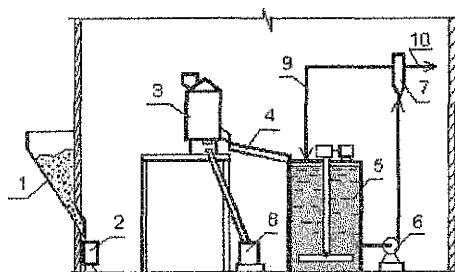
Расчет количества извести, требуемого для механического обезвоживания осадка, приведен в п. 9.2.2 данных методических указаний.

### 2.2.3 Технологические схемы

Выбор технологической схемы известкового хозяйства станции водоподготовки надлежит производить с учетом качества и вида заводского продукта, способа ее доставки, потребности в извести, требований к качеству известкового молока и т. д.

В современной технологии могут применяться схемы с "сухим" хранением извести, когда на станцию доставляется комовая или молотая известь, и схемы с "мокрым" хранением извести при доставке извести в виде известкового теста или молока.

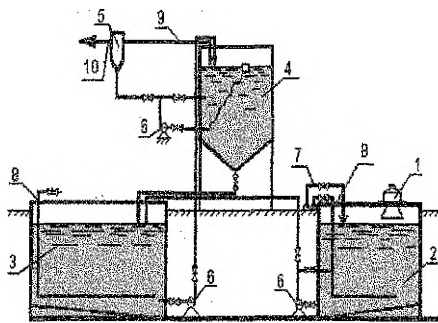
Схема известкового хозяйства с бункерным складом комовой извести представлена на рисунке 2.3. Данная схема применяется при расходе извести до 400 кг/сут.



- 1 – бункер;
- 2 – контейнер;
- 3 – известгазасилка;
- 4 – сливной желоб;
- 5 – бак для известкового молока;
- 6 – насос;
- 7 – дозатор;
- 8 – контейнер для сбора отходов;
- 9 – перелив с дозатора;
- 10 – трубопровод для подачи отдозированного известкового молока.

**Рисунок 2.3 – Схема известкового хозяйства с использованием комовой извести при сухом хранении**

Схема реагентного хозяйства со складом привозного известкового теста представлена на рисунке 2.4. Производительность данного реагентного хозяйства до 10 т извести в сутки.



- 1 – контейнер для 50%-ного известкового теста;
- 2 – бак для приготовления 30%-ного известкового молока;
- 3 – бак-хранилище 30%-ного известкового молока;
- 4 – циркуляционная мешалка для 5%-ного известкового молока;
- 5 – дозатор;
- 6 – насосы;
- 7 – водопровод;
- 8 – воздухопровод от воздуходувки;
- 9 – перелив с дозатора;
- 10 – трубопровод для подачи отдозированного известкового молока

**Рисунок 2.4 – Схема известкового хозяйства с использованием привозного известкового теста**

### 2.2.4 Расчет и подбор оборудования для приготовления раствора извести

Расчет схемы известкового хозяйства с использованием комовой извести при сухом хранении.

1. Суточный расход извести (в пересчете на СаО)

$$G_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{и}}}{1000 \cdot 1000}, \text{ т / сут.} \quad (2.11)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – расчетный расход воды, м<sup>3</sup>/сут.;

$D_{\text{и}}$  – доза извести, мг/л, определяется по формуле (2.10).

2. Суточный расход товарной извести

$$G_{\text{сут}}^{\text{тов}} = \frac{G_{\text{сут}} \cdot 100}{C}, \text{ т / сут.,} \quad (2.12)$$

где  $C$  – содержание чистого реагента в товарном продукте, %, принимается в зависимости от вида товарного продукта по таблице 2.4.

Определение суточного расхода товарной извести,  $P_m$ , т/сут, необходимого для механического обезвоживания осадка, производится по формуле (9.11).

3. Для гашения и измельчения извести, а также получения известкового молока по полученному расходу извести подбирается аппарат для гашения извести (различных видов известегасилки и мельницы). Технические характеристики данных аппаратов представлены в табл. 2.5 данных методических указаний и в гл. 12 [3] и в гл. XIII [2]. Для непрерывной и равномерной подачи кускового материала из бункеров в перерабатывающие его аппараты следует подобрать питатель. Технические характеристики различных типов питателей представлены в табл. 5.8 [2].

Таблица 2.5 – Технические характеристики аппаратов известкового хозяйства

Марка аппарата	Производительность, т/ч	Мощность электродвигателя, кВт	Размеры, мм			Масса, т
			длина	ширина	высота	
Известгасилка С-322	1	2,8	1770	1750	1540	0,75
Известгасилка СМ-1247	2–3	2,2	2800	996	1560	0,72
Шаровая мельница СМ-432	0,5–1,9	20	5088	1800	1700	6,2
Стержневая мельница СМ-435	1,0–2,4	20	4925	1820	1700	6,5

4. Объем бака для приготовления 5%-ного известкового молока

$$W^{5\%} = \frac{G_{\text{сут}} \cdot n \cdot 100}{24 \cdot b_u \cdot \gamma}, \text{ м}^3, \quad (2.13)$$

где  $n$  – время, на которое заготавливают известковое молоко, принимается равным 6–12 ч;

$b_u$  – концентрация известкового молока, %, принимается 5 %;

$\gamma_u$  – объемный вес известкового молока, принимается в зависимости от концентрации раствора по таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Объемный вес известкового молока при 20 °С

Концентрация раствора, %	1	3	5	8	10	12	16	20	25	30
Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	1,000	1,025	1,039	1,061	1,075	1,090	1,119	1,148	1,184	1,220

Количество баков принимается не менее двух, размеры баков задаются произвольно. На данном этапе следует произвести выбор перемешивающего устройства (пункт 2.2.5 данных методических указаний).

Расчет схемы известкового хозяйства с использованием *известкового теста при мокром хранении*.

1. Объем бака для приготовления 30%-ного известкового молока:

а) для станций водоподготовки:

$$W^{30\%} = \frac{Q_{\text{рас}} \cdot D_u \cdot n}{10000 \cdot b_u \cdot \gamma_u}, \text{ м}^3, \quad (2.14)$$

б) при механическом обезвоживании осадков:

$$W^{30\%} = \frac{P_T \cdot 100}{b_p \cdot \gamma_u}, \text{ м}^3, \quad (2.15)$$

где  $Q_{\text{рас}}$  – расчетный расход воды, м<sup>3</sup>/час;

$D_u$  – доза извести, мг/л, определяется по формуле (2.10);

$n$  – время, ч, на которое заготавливают известковое молоко, принимается равным 6–12 ч;

$b_u$  – концентрация известкового молока, %, принимается 30 %;

$\gamma_u$  – объемный вес известкового молока, принимается в зависимости от концентрации раствора по таблице 2.4;

$P_m$  – суточный расход товарной извести, т/сут., определяется по формуле (9.11).

Количество баков – не менее двух, баки принимаются прямоугольные в плане, размеры – произвольно. Для интенсификации растворения извести и перемешивания раствора в данных баках необходимо предусмотреть подачу сжатого воздуха. Определение расхода воздуха и подбор воздуходувного оборудования приведено в пункте 4 данных методических указаний.

2. Объем баков-хранилищ:

а) для станций водоподготовки:

$$W_{в/х} = \frac{Q_{сут} \cdot D_u \cdot T}{10000 \cdot b_u \cdot \gamma_u}, \text{ м}^3, \quad (2.16)$$

б) при механическом обезвоживании осадков:

$$W_{в/х} = W^{30\%} \cdot T, \text{ м}^3, \quad (2.17)$$

где  $T$  – время хранения известкового молока, принимается 15–30 суток.

Количество баков не менее двух, баки прямоугольные в плане, размеры принимаются произвольно. Для поддержания во взвешенном состоянии твердых частиц извести в баки следует подавать сжатый воздух. Определение расхода воздуха и подбор воздуходувного оборудования смотри в пункте 4 данных методических указаний.

3. Объем расходных баков:

$$W_{расх.} = \frac{W^{30\%} \cdot b_u}{b_p}, \text{ м}^3, \quad (2.18)$$

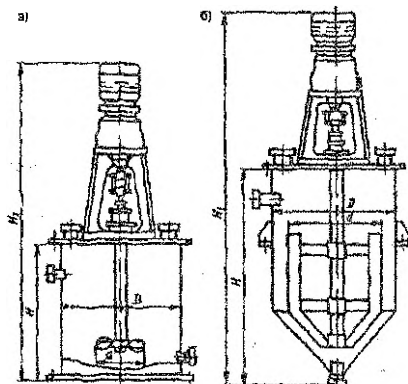
где  $b_p$  – концентрация рабочего раствора известкового молока, %, принимается равной 5 % (для станций водоподготовки) и 10 % (при механическом обезвоживании осадков).

В качестве расходных баков принимаются гидравлические мешалки. Количество мешалок – не менее двух. Подбор мешалок приведен в пункте 2.2.5 данных методических указаний.

#### 2.2.5 Подбор устройств и оборудования для перемешивания раствора извести

В качестве перемешивающих устройств в баках для извести применяются механические мешалки и гидравлические мешалки, реже прибегают к использованию сжатого воздуха.

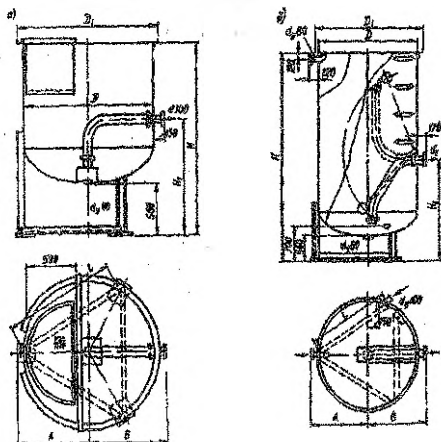
К механическим мешалкам относятся аппараты с перемешивающими устройствами, мутилки и перемешиватели механические тихоходные. Аппараты с перемешивающими устройствами (рис. 2.5.) предназначены для приготовления растворов реагентов. Технические характеристики данных аппаратов с перемешивающими устройствами представлены в табл. 2.7 данных методических указаний, а также в табл. 5.1 и 5.2 [2] и в табл. III.6 и III.7 [3].



а) с плоским дном и пропеллерной мешалкой;  
 б) с коническим дном и рамной мешалкой  
 Рисунок 2.5 – Аппараты с перемешивающими устройствами

Таблица 2.7 – Техническая характеристика аппаратов с перемешивающими устройствами (см. рис. 2.5)

Тип аппарата	Вместимость, м <sup>3</sup>	Размеры, мм				Частота вращения мешалки, об/мин	Электродвигатель		Масса, т
		D	d	H <sub>1</sub>	H		марка	мощность, кВт	
С коническим дном и рамной мешалкой	6,3	1800	1700	4300	3000	32	АО51-4	4,5	2,4
	8	2000	1900	4500	3250		АО52-4	7	2,8
	10	2200	2120	4700	3350		АО52-4	7	3,4
	12	2400	2240	5000	3700		АО52-4	7	3,7
с плоским дном и пропеллерной мешалкой	6,3	1800	600	4300	2600	180	АО51-4	4,5	2,3
	8	2000	600	4900	2600		АО51-4	4,5	2,7
	10	2200	710	5000	2600		АО52-4	7	3,3
	12	2400	800	4800	2800		АО52-4	7	3,7
То же и лопастной мешалкой	2,5	1400	950	3040	1640	485	АО41-4	1,7	0,94
	5	1800	1250	3500	2000		АО52-4	2,8	1,3
	10	2200	850	4280	2590		АО51-4	4,5	2,1



Для перемешивания известкового молока применяются также мешалки гидравлические (рис. 2.6). Технические характеристики мешалок гидравлических представлены в табл. 2.8 данных методических указаний, а также в табл. 5.11 и 5.12 [2] и в табл. III.9 [3].

Рисунок 2.6 – Мешалки гидравлические объемом 1 и 2 м<sup>3</sup> (а) и 4, 8 и 14 м<sup>3</sup> (б)



Таблица 2.8 – Размеры, мм, и масса, кг, мешалок гидравлических (см. рис. 2.6)

Рабочий объем, м <sup>3</sup>	D	D <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	L	A	B	d <sub>1</sub>	Масса
1	1200	1316	1645	1095	1000	654	758	80	270
2	1600	1716	1860	1210	1350	854	958	80	430
4	1600	1716	2900	1670	1300	928	978	100	645
8	2000	2100	3800	1970	1640	1130	1180	100	1415
14	2600	2724	4600	2300	2140	1432	1482	150	2610

Производительность насоса для гидравлического перемешивания раствора в баке:

$$Q_n = 3,6 \cdot F \cdot S \cdot v_{\text{восх}}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (2.19)$$

где  $F$  – площадь в плане бака с реагентом, м<sup>2</sup>;

$S$  – доля объема раствора, подлежащего перемешиванию, может приниматься 1;

$v_{\text{восх}}$  – скорость восходящего потока в баке реагента, мм/с; при перемешивании известкового молока принимают  $v_{\text{восх}}$  не менее 5 мм/с [1].

Давление насосов определяется:

$$P = \Delta Z \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6} + \sum p + 0,01, \text{ МПа}, \quad (2.20)$$

где  $\Delta Z$  – высота подъема реагента, м;

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$\sum p$  – потери давления в трубопроводах (ориентировочно можно принять 0,02–0,03 МПа).

Для перекачки известкового молока применяются насосы для перекачивания сточной жидкости, песковые, плунжерные и другие насосы, рассчитанные на перекачку жидкости с наличием взвешенных веществ.

Подбор насосов осуществляется по требуемым подаче и давлению по табл. 4.23 и 4.25б [2] или по табл. V.22 и V.27 [3]. Для каждой гидравлической мешалки устанавливается свой насос, т. е. количество насосов должно соответствовать количеству мешалок. Эти же насосы подают раствор реагента в дозаторы.

При использовании для перемешивания известкового молока сжатого воздуха, определение расхода воздуха и подбор воздухоподводящего оборудования приведены в пункте 4 данных методических указаний.

**Задача №2.3** Рассчитать и подобрать оборудование для приготовления известкового молока. Расчетный расход воды  $Q_{\text{сут.}} = 85000$  м<sup>3</sup>/сут., минимальная щелочность воды 1 ммоль/л. Для коагулирования воды применяется хлорное железо  $\text{FeCl}_3$  дозой 65 мг/дм<sup>3</sup>.

## 2.3 Расчет и подбор оборудования реагентного хозяйства флокулянта

### 2.3.1 Виды флокулянтов для очистки природных и сточных вод

Флокулянты применяются в химводоподготовке совместно с коагулянтами для интенсификации процессов осаждения примесей, уплотнения и обезвоживания образующегося осадка.

Флокулянты по их происхождению делятся на:

- неорганические (активная кремниевая кислота);
- органические флокулянты.

Органические флокулянты в зависимости от исходного сырья, делятся:

- на природные (крахмал, гуаровые смолы, карбоксиметилцеллюлоза, альгинат натрия, хитозан);
- синтетические (полиакриламид, полиэтиленоксид, акрилаты, полиамины и др.)

Органические флокулянты в зависимости от наличия и знака заряда в макромолекуле полимера:

- неионные;
- ионные отрицательно заряженные (анионные);
- ионные положительно заряженные (катионные).

Синтетические водорастворимые полимеры, получаемые на основе различных виниловых мономеров, являются самыми распространенными реагентами, применяемыми в процессах очистки воды.

Существует большое количество модификаций флокулянтов, которые индивидуально подбираются для конкретных условий в зависимости от состава очищаемой воды или сточных вод, применяемого коагулянта, уровня pH воды (среды), применяемой технологии и оборудования и многих других факторов. Характеристики некоторых флокулянтов, применяемых в процессах обработки природных и сточных вод, приведены в таблице 2.9.

Также в настоящее время широкое распространение получили флокулянты: Флопам (Франция), Магнафлок (Швейцария), Праестол (Россия-Германия), Зетаг (Швейцария), Дифлок (Россия).

### 2.3.2 Определение дозы реагента

Дозу флокулянтов (в дополнение к дозам коагулянтов) на станциях водоподготовки следует принимать на основании результатов инженерных изысканий. При использовании анионного полиакриламида (ПАА) его дозу для ориентировочных расчетов следует принимать в количестве, мг/л:

- от 0,20 до 1,50 — при вводе ПАА перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком;
- от 0,05 до 0,10 — при вводе ПАА перед фильтрами в схемах с отстаиванием (осветлением в слое взвешенного осадка) и фильтрованием;
- от 0,20 до 0,60 — при вводе ПАА перед фильтрами в схемах с одноступенчатым фильтрованием.

При применении других видов флокулянтов, в том числе катионного или неионогенного полиакриламида, их дозы и порядок введения в воду устанавливаются на основании результатов инженерных изысканий.

Доза флокулянта для кондиционирования осадка сточных вод перед механическим обезвоживанием, а также схема приготовления и дозирования флокулянта представлены в п. 9. данных методических указаний.

Таблица 2.9 – Характеристики флокулянтов

Флокулянт	Тип флокулянта	Товарный вид	Содержание ионных групп, %
1	2	3	4
Полимеры акриламида серии АК 636:			
К 1020	Слабокатионный	Порошок	18-22
К 555	Сильнокатионный	Порошок	50-55
К 580	Сильнокатионный	Порошок	75-80

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3	4
Полимеры акриламида серии АК 631: А 930 А 1510 Н 150	Среднеанионный Слабоанионный Неионный	Порошок Порошок Порошок	20-30 5-10 3
Флокатор 100 Флокатор 200 Флокатор 109	Сильнокатионный Сильнокатионный Сильнокатионный	Гель 50 % Гель 50 % Гель 50 %	100 100 100
ВПК 101 ВПК 402	Сильнокатионный Сильнокатионный	Жидкость 25 % Жидкость 25 %	100 100
Полиакриламид	Слабоанионный	Гель 8 %	6-8

### 2.3.3 Расчет и подбор оборудования для приготовления раствора ПАА

Технический полиакриламид – прозрачный, бесцветный, вязкий и тягучий гель, содержащий 7 – 9 % полимера, поставляется и транспортируется в деревянных бочках емкостью нетто 100 – 150 кг.

Схема приготовления раствора ПАА представлена на рис. 2.7.

Полиакриламид (ПАА) следует применять в виде раствора с концентрацией от 0,1 % до 1 %. Приготовление раствора ПАА следует производить в баках с механическими лопастными мешалками. Продолжительность приготовления раствора из ПАА-геля — от 25 до 40 мин, из сухого ПАА — 2 ч. Для ускорения приготовления ПАА следует использовать воду с температурой от 40 °С до 50 °С.

Расчет схемы приготовления раствора ПАА ведется в следующей последовательности.

1. Определяется производительность мешалки  $q_m$  в кг/сут ПАА:

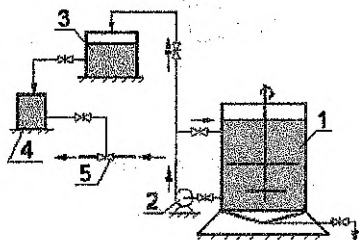
$$q_m = \frac{Q_{сут} \cdot D_{ПАА}}{1000}, \text{ кг / сут,} \quad (2.21)$$

где  $Q_{сут}$  – производительность очистной станции, м<sup>3</sup>/сут;  
 $D_{ПАА}$  – доза ПАА, мг/л.

2. Определяется емкость мешалки:

$$W = \frac{q_m \cdot 100}{b \cdot \gamma \cdot 1000}, \text{ м}^3, \quad (2.22)$$

где  $b$  – концентрация раствора ПАА, %, принимается 0,1 – 1 %;  
 $\gamma$  – удельный вес раствора ПАА,  $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$ .



- 1 – бак с мешалкой;
- 2 – циркуляционный и перекачивающий насос;
- 3 – расходный бак;
- 4 – дозатор;
- 5 – эжектор для разбавления и транспортирования раствора ПАА

Рисунок 2.7 – Схема приготовления раствора ПАА

В качестве мешалки можно использовать типовую установку для растворения полиакриламида УРП-2М, технические характеристики которой представлены в главе 11 [3]. Также для этих целей можно использовать аппараты с перемешивающими устройствами, технические характеристики которых представлены в табл. 2.7 данных методических указаний, а также в табл. 5.1 и 5.2 [2] и в табл. III.6. и III.7 [3].

3. Определяется объем расходных баков:

$$W_{p.c.} = W \cdot t, \text{ м}^3, \quad (2.23)$$

где  $t$  – время хранения раствора ПАА: 0,7 – 1 % растворов не более 15 суток, 0,4 – 0,6 % растворов – 7 суток, 0,1–0,3 % растворов – 2 суток [1].

Количество расходных баков должно быть не менее двух, размеры принимаются произвольно.

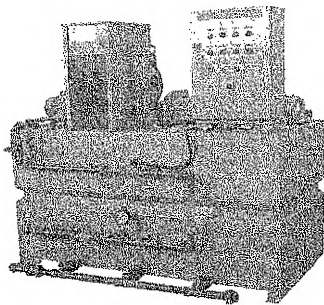
Приготовление растворов других флокулянтов следует производить в соответствии с рекомендациями изготовителя.

**Задача №2.4** Рассчитать емкости мешалки и расходного бака для приготовления раствора флокулянта ПАА. Расчетный расход воды  $Q_{\text{сут.}} = 85000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , мутность воды 900 мг/л, цветность 40 градусов.

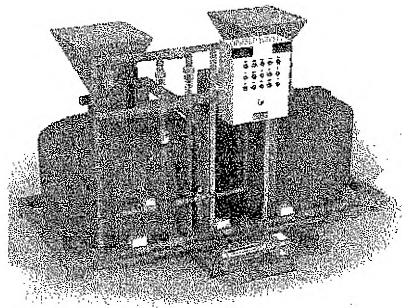
#### 2.3.4 Станции приготовления и дозирования флокулянтов

В настоящее время получили широкое применение станции приготовления и дозирования флокулянтов. Данные станции предназначены для непрерывного приготовления водных растворов флокулянта из гранулированного порошка или жидких полимеров. Станции могут работать в автоматическом полуавтоматическом или в ручном режимах.

Данные станции (рис. 2.8) представляют собой емкость из нержавеющей стали, разделенную на три камеры – растворения, созревания и дозирования. Станция включает в себя также следующие компоненты: узел подводы воды с запорной арматурой и измерительными приборами, мешалки, дозатор сухого материала, струйный смеситель, смотровые окна, ультразвуковой датчик уровня, шкаф управления.



**Рисунок 2.8 – Установка приготовления флокулянта типа УТН [8]**



**Рисунок 2.9 – Станция приготовления флокулянта производства АО «ДАКТ-Инжиниринг» [9]**

Таблица 2.10 – Технические характеристики установки приготовления флокулянта типа УТН [8]

Модель УТН	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000
Производительность, л/час (при времени созревания 60 мин.)	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000
Мощность, кВт	1,7	2,45	2,45	2,45	3,5	3,9	3,9
Количество исходного сухого полимера, кг/час	1~5	2~10		3~15		3,5~20	
Потребление воды на приготовление, м³/час	0,3~1,5	0,6~3	0,9~4	1,2~6	1,6~8	2,0~10	2,4~12
Давление воды на приготовление, МПа	0,2~0,3						
Габаритные размеры, мм	Длина	1370	2000	2130	2200	2400	2720
	Ширина	680	1000	1070	1200	1200	1300
	Высота	1500	1710	1710	1900	2140	2180
Присоединительные размеры Ди, мм	Отвод продукта	25	32	32	32	40	40
	Подвод воды	25	32	32	32	40	50
	Перелив	32	40	40	40	40	40
	Дренаж	25	32	32	32	40	40
Масса, кг	250	400	490	550	650	700	770
Класс защиты шкафа управления	IP53						

Таблица 2.10 – Технические характеристики станции приготовления флокулянта производства АО «ДАКТ-Инжиниринг» [9]

Наименование основных параметров и размеров	Тип 1	Тип 2	Тип 3	
Производительность по рабочему раствору, м³/час	1,0 - 5	2,0 - 10,0	4,0 - 20,0	
Массовая концентрация рабочего раствора, кг/м³ (%)	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5	
Вместимость растворного бака (рабочая), м³	1,0	2,0	4,0	
Вместимость расходного бака (рабочая), м³	1,0	2,0	4,0	
Время перемешивания, мин	60	60	60	
Температура раствора, °С	10 - 25	10 - 25	10 - 25	
Частота вращения, с⁻¹	2×60	2×60	2×60	
Мощность установления, кВт	0,75	1,5	2,2	
Габариты размеры, мм, не более	Длина	2300	3500	4200
	Ширина	1500	1900	2300
	Высота	1850	2050	2500
Масса, кг, не более	350	500	700	

#### 2.4 Определение площади складов реагентов при "сухом" хранении

Склады рассчитываются на 30-суточный запас реагентов в зависимости от usualной доставки, исходя из периода максимального расхода. Возможно строительство складов другой вместимости, но не меньшей, чем рассчитанной на хранение 15-суточного запаса. Если планируется поставлять реагенты на станцию железнодорожным транспортом, то проектируемая вместимость складов должна быть кратной вместимости большегрузного вагона или цистерны при имеющемся в момент разгрузки 10-суточном запасе реагентов.

При "сухом" хранении реагентов площадь склада  $F_{ск}$  определяют по формуле

$$F_{ск} = \frac{Q_{сут} \cdot D_p \cdot T \cdot \alpha}{10000 \cdot \rho \cdot G_0 \cdot h}, \text{ м}^2, \quad (2.24)$$

где  $Q_{сут}$  – полная производительность очистной станции, м³/сут.;

$D_p$  – расчетная доза реагента при максимальной потребности, мг/л;

$T$  – продолжительность хранения реагента на складе, сут.;

$\alpha$  – коэффициент учета дополнительной площади проходов на складе, принимается равным 1,15;

$p$  – содержание безводного продукта в реагенте, %;  
 $G_0$  – объемная масса реагента при загрузке склада навалом, т/м<sup>3</sup>;  
 $h$  – допустимая высота слоя реагента на складе, м.

Высоту слоя реагента на складе принимают: для сульфата алюминия навалом – 2 м; для негашеной извести навалом – 1,5 м. При наличии соответствующей механизации допускается увеличение высоты слоя сульфата алюминия до 3,5 м, извести – до 2,5 м. Высота укладки реагентов в таре должна составлять: для железного купороса в бумажных мешках – 2,0 – 3,5 м, хлорида железа (III) в барабанах, активированного угля в бумажных мешках, полиакриламида (геля 6 – 9%) в бочках, кремнефторида натрия в бочках – 2,5 м.

Сухие реагенты хранят в закрытых складах, размещаемых обычно на I этаже здания реагентного хозяйства, вблизи мест приготовления растворов и лишь на станциях большой производительности, как исключение, оборудуются отдельные складские помещения для реагентов.

**Задача №2.5** Определить площадь склада для хранения коагулянта и извести при производительности станции  $Q_{сут.} = 35000$  м<sup>3</sup>/сут., доза коагулянта сульфата алюминия  $D_R = 50$  мг/л, извести  $D_{изв} = 18,6$  мг/л, продолжительность хранения  $T = 30$  сут., содержание безводного продукта в коагулянте  $p = 35,5\%$ , в извести  $p = 70\%$ , объемная масса при загрузке склада навалом коагулянта  $G_0 = 1,1$  т/м<sup>3</sup>, извести  $G_0 = 1$  т/м<sup>3</sup>.

### 3 РАСЧЕТ И ПОДБОР ДОЗАТОРОВ РЕАГЕНТОВ

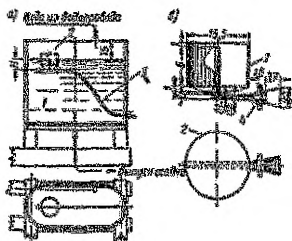
По принципу действия дозаторы подразделяются на два основных принципа: 1) дозаторы постоянной дозы, применяемые при равномерной подаче среды с постоянным качественным составом; 2) дозаторы пропорциональной дозы, с помощью которых достигается автоматическое изменение подачи реагента при изменении расхода или состава среды.

К дозаторам первого типа относятся поплавковые дозаторы, дозировочные баки с постоянным уровнем и сечением выходного отверстия, насосы-дозаторы марок НД.

К дозаторам второго типа относятся автоматический дозатор сернокислого алюминия, дозаторы типа ДИМБА, насосы-дозаторы типа 1В с электрифицированным вариатором.

#### 3.1 Поплавковый дозатор

Применяются на очистных станциях производительностью до 30000 м<sup>3</sup>/сут. Применяются для дозирования как кислых, так и щелочных реагентов (коагулянта, флокулянта и извести) (рис. 3.1).



а – дозировочный бачок;  
 б – поплавок-дозатор;

1 – бачок;  
 2 – поплавок;  
 3 – резиновая трубка;  
 4 – сменная диафрагма

Рисунок 3.1 – Поплавковый дозатор

При дозаторе имеется набор диафрагм с разными отверстиями. Обозначение поплавковых дозаторов:

$$\text{ПД}_к - 40, \text{ПД}_щ - 70,$$

где  $к, щ$  – реакция реагента;  
 $40, 70$  – диаметр приемной трубы дозатора.

Максимальный расход реагента  $0,9 - 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Подбор диаметра отверстия диафрагмы для определенного расхода реагента определяется из формулы:

$$q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH}, \text{ м}^3 / \text{сек}, \quad (3.1)$$

где  $q$  – расход раствора реагента,  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$\mu$  – коэффициент, равный  $0,62$ ;

$\omega$  – площадь отверстия диафрагмы,  $\text{м}^2$ ;

$H$  – напор (глубина погружения центра диафрагмы под уровень), м, принимаемый  $0,15 \text{ м}$ .

Технические характеристики поплавковых дозаторов принимаются по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Техническая характеристика поплавковых дозаторов

Марка	Реакция реагента	Максимальный расход реагента, $\text{м}^3/\text{ч}$	Диаметр приемной трубы дозатора, мм	Вес, кг
ПДк-40	кислая	0,9	40	3,68
ПДк-60	кислая	2,2	60	4,08
ПДк-70	кислая	2,5	70	5,66
ПДщ-32	щелочная	0,9	32	4,27
ПДщ-50	щелочная	2,2	50	5,28
ПДщ-70	щелочная	2,5	70	7,36

Примечание: Для растворов, имеющих примесь хлора, дозаторы применять не следует

**Задача №3.1** Подобрать поплавокый дозатор при расходе реагента  $0,9 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $0,00025 \text{ м}^3/\text{с}$ )

### 3.2 Шайбовый дозатор

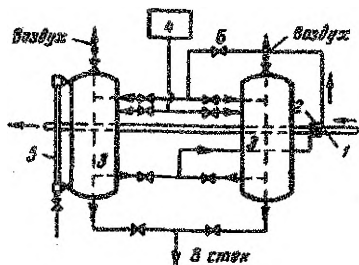
Шайбовый дозатор (рис. 3.2) относится к напорным дозаторам пропорциональной дозы, приспособленным для дозирования легкорастворимых реагентов (сода, едкий натр, сернистый алюминий).

Работает на перепаде давления в диафрагме трубопровода, подающего воду на станцию производительностью  $10000 - 12000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Дозатор шайбовый емкостью  $3,5 \text{ м}^3$  представляет собой стальной цилиндрический бак, в сферическое днище которого вварены патрубки для подачи и отвода дозируемого раствора реагента и воды.

Расчет шайбового дозатора заключается в определении емкости дозатора и диаметра шайбы в трубопроводе сырой воды.

Последовательность расчета шайбового дозатора.



- 1 – трубопровод сырой воды;
- 2 – шайба;
- 3 – дозатор;
- 4 – дозатор;
- 5 – водомерные стекла;
- 6 – вентиль

Рисунок 3.2 – Схема установки шайбовых дозаторов

1. Емкость дозатора определяют по формуле:

$$W = 0,1 \cdot \frac{n \cdot Q_{\text{час}} \cdot D}{b \cdot \gamma}, \text{ л}, \quad (3.2)$$

где  $n$  – число часов непрерывного действия дозатора (не менее 6 ч);

$Q_{\text{час}}$  – расход обрабатываемой воды, м<sup>3</sup>/ч;

$D_k$  – доза реагента, мг/л;

$b$  – концентрация раствора реагента, %;

$\gamma$  – удельный вес раствора реагента, т/м<sup>3</sup>, принимается в зависимости от концентрации по табл. 2.1.

2. Принимается максимальная высота слоя раствора реагента в дозаторе  $H_1 = 2d_0$ , где  $d_0$  – диаметр цилиндрического корпуса дозатора.

$$W = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot H_1 = \frac{\pi \cdot (H_1/2)^2}{4} \cdot H_1 \Rightarrow H_1, \text{ м}. \quad (3.3)$$

3. Перепад давления, создаваемый дроссельной шайбой

$$\Delta h = (\gamma - 1) \cdot \left( H + \frac{100 \cdot H_1}{K} \right) + 3 \cdot \sum h_c, \text{ мводст.}, \quad (3.4)$$

где  $H$  – максимальная геометрическая высота подачи раствора из дозатора в трубопровод исходной воды в м;

$K$  – точность дозирования (обычно 10 %);

$\sum h_c$  – гидравлические сопротивления на пути обрабатываемой воды от дроссельной шайбы к дозатору и на пути раствора реагента от дозатора к дроссельной шайбе.

4. Диаметр шайбы на трубопроводе обрабатываемой воды можно определить по формуле:

$$d_{\text{ш}} = 4,27 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{час}}}{\alpha \cdot \sqrt{\Delta h}}}, \text{ мм}. \quad (3.5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент истечения, принимаемый по таблице 3.2, в зависимости от соотношения  $m = (d_{\text{ш}}/D)^2$ , где  $D$  – диаметр трубопровода исходной воды, мм, на котором установлена шайба.



Таблица 3.2 – Зависимость значения коэффициента истечения  $\alpha$  от отношения диаметров шайбы и трубопровода  $m$

Отношение $m = (d_{ш}/D)^2$	Величина $\alpha$	Отношение $m = (d_{ш}/D)^2$	Величина $\alpha$
0,05	0,596	0,4	0,66
0,1	0,6	0,45	0,675
0,15	0,607	0,5	0,695
0,2	0,615	0,55	0,715
0,25	0,625	0,6	0,74
0,3	0,635	0,65	0,765
0,35	0,647		

**Задача №3.2** Рассчитать шайбовый дозатор при расходе обрабатываемой воды  $Q_{\text{час}} = 100 \text{ м}^3/\text{ч} = 27,8 \text{ л/с}$ , время непрерывного действия дозатора  $n = 10 \text{ ч}$ , доза реагента сернокислого алюминия  $D = 45 \text{ г/м}^3$ , концентрация раствора реагента  $b = 8 \%$  (при  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ), максимальная геометрическая высота подачи раствора из дозатора в трубопровод исходной воды  $H = 5,5 \text{ м}$ , гидравлическое сопротивление на пути обрабатываемой воды от дроссельной шайбы к дозатору  $\sum h_e = 0,2 \text{ м}$ .

### 3.3 Насос-дозатор

В практике очистки воды весьма распространено использование для дозирования растворов и суспензий реагентов насосов-дозаторов. Достоинство их состоит в том, что они компактны, обеспечивают возможность дозирования в напорный трубопровод и могут быть легко автоматизированы.

Насосы дозировочные типа НД предназначены для перекачки чистых нейтральных и агрессивных жидкостей, эмульсий и суспензий. Насосы изготовляются из нержавеющей стали (сальники из маслобензостойкой резины) и используются в реagentных хозяйствах для перекачки и дозирования растворов коагулянтов, полиакриламида и известкового молока. Насосы типа НД горизонтальные, одноплунжерные, одинарного действия. Подача насосов регулируется от нуля до максимума вручную путем изменения длины хода плунжера.

Условное обозначение агрегата: НД1,0–10/100К–14А или В, где:

Н – насос,

Д – дозировочный,

1,0 – категория точности дозирования (возможно 0,5; 1; 2,5),

10 – подача насоса в л/час,

100 – давление в атмосферах,

К – материал проточной части (нержавеющая сталь 12Х18Н10Т),

1 (2) – 1 – без обогрева, 2 – с обогревом проточной части,

4 (3) – 4 – с подводом затворной жидкости, 3 – без подвода,

А – с электрическим двигателем в общепромышленном исполнении,

В – с электрическим двигателем во взрывозащищенном исполнении.

Дозировочные насосы могут использоваться не только для дозирования жидкостей, но и как насосы высокого давления, и как насосы маленькой подачи, и как химические насосы.

Подача насоса-дозатора рассчитывается по формуле:

а) для станций водоподготовки:

$$q_{нд} = \frac{Q_{сут} \cdot D_p}{b_p \cdot \gamma_p \cdot 10000}, \text{ м}^3 / \text{сут.}, \quad (3.6)$$

б) при механическом обезвоживании осадков:

$$q_{нд} = \frac{P_r \cdot 100}{b_p \cdot \gamma_p}, \text{ м}^3 / \text{сут.}, \quad (3.7)$$

где  $Q_{сут}$  – расход воды, м<sup>3</sup>/сут;

$D_p$  – доза реагента, мг/л;

$b_p$  – концентрация раствора реагента, %;

$\gamma_p$  – объемный вес раствора реагента, т/м<sup>3</sup>, принимается в зависимости от концентрации раствора, по табл. 2.3 или 2.6.

$P_r$  – расход реагента для коагулирования осадков городских сточных вод по товарному продукту, т/сут., определяемый по формуле (9.11).

Технические характеристики насосов-дозаторов представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические характеристики насосов-дозаторов типа НД [10,11]

Подача, л/ч	d <sub>y</sub> , мм	Предельное давление, кгс/см <sup>2</sup> (атм.)										
		4	6,3	10	16	25	40	63	100	160	250	400
0,4	10				0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25	
0,63	10				0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25	
0,8	10				0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25	
1,0	10				0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25	
1,6	10				0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25	0,25
2,5	10								0,25			0,25
4,0	10								0,25		0,25	0,25
6,3	10								0,25	0,25	0,25	
10	10								0,25	0,37		0,55
16	10								0,25	0,37		0,55
20	10										0,55	1,1
25	10										0,55	1,1
30	10										0,55	1,1
40	10						0,25	0,37			0,55	1,1
50	10									0,55	1,1	1,5
63	10				0,25	0,37			0,55	1,1	1,5	2,2
75	10								0,55	1,1	1,5	2,2
100	10				0,25	0,37			0,55	1,1	1,5	2,2
120	10								0,55	1,1	1,5	2,2
160	15		0,25	0,37			0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0
200	15						0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0
250	15	0,25	0,37	0,55	0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0		
320	15						1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	
400	25				0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0		
500	25				0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0		
630	25		0,55	1,1	1,5	2,2	3,0					
800	32		0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0				
1000	32	0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0					

Продолжение таблицы 3.3

Параметры		Предельное давление, кгс/см <sup>2</sup>										
подача, л/ч	d <sub>y</sub> , мм	4	6,3	10	16	25	40	63	100	160	250	400
		мощность электродвигателя, кВт										
1250	32	0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0					
1600	32	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0						
2000	32	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0						
2500	40	1,5	2,2	3,0	4,0							
3200	40	1,5	3,0	4,0	4,0							
4000	48		3,0	4,0								
5000	48	2,2	3,0	4,0								
6000	48	3,0	4,0									
6400	48		4,0									

Примечание: Габаритные и монтажные размеры агрегатов представлены в [10, 11]

**Задача №3.3** Подобрать насос-дозатор для дозирования раствора коагулянта на станции водоподготовки производительностью 25000 м<sup>3</sup>/сут, при дозе реагента  $D_k = 45$  мг/л концентрация раствора реагента  $b = 8$  %.

**Задача №3.4** Подобрать насос-дозатор для дозирования раствора коагулянта FeCl<sub>3</sub> при вакуум-фильтрации осадков сточных вод. Расход сырого осадка первичных отстойников 250 м<sup>3</sup>/сут, влажность осадка 95 %, концентрация раствора реагента  $b = 10$  %.

### 3.4 Дозатор известкового молока типа ДИМБА

Дозатор ДИМБА – сварной бункерно-лотковый аппарат с делителем падающей струи, имеющим привод от исполнительного механизма. Дозатор предназначен для дозирования раствора извести. Подбор дозатора осуществляется по количеству обрабатываемой извести (т/сут.) или количеству подаваемого раствора к дозатору (м<sup>3</sup>/ч) по таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Техническая характеристика дозаторов известкового молока типа ДИМБА

Тип дозатора	Количество обрабатываемой извести, т/сут	Пропускная способность полезная, м <sup>3</sup> /ч	Количество подаваемого раствора к дозатору, м <sup>3</sup> /ч	Исполнительный механизм		Общий вес, кг
				тип	мощность, Вт	
ДИМБА-1	2	1	2	ПР-1М	60	45
ДИМБА-3	4	3	6	ПР-1М	60	70
ДИМБА-10	5...12	10	15	МЭК-10К	180	160
ДИМБА-20	15...25	20	30	МЭК-10К	180	246
ДИМБА-40	30...50	40	60	МЭК-10К	180	490

## 4 РАСЧЕТ И ПОДБОР ВОЗДУХОДУВОК И РАСЧЕТ ВОЗДУХОПРОВОДОВ ДЛЯ РЕАГЕНТНЫХ ХОЗЯЙСТВ

Для интенсификации процессов растворения коагулянта и извести и перемешивания раствора в растворных, расходных баках и баках-хранилищах предусматривается подача сжатого воздуха.

### 1. Коагулянтное хозяйство.

Расчетный расход воздуха, подаваемого в растворные и расходные баки коагулянта, определяется по формуле:

$$Q_{\text{возд}}^{\text{коаг}} = \omega_1 \cdot F_1 \cdot n_1 + \omega_2 \cdot F_2 \cdot n_2, \text{ л/с}, \quad (4.1)$$

где  $\omega_1, \omega_2$  – интенсивности подачи воздуха в растворные и расходные баки, л/(с·м<sup>2</sup>), принимается 8 – 10 и 3 – 5 л/(с·м<sup>2</sup>) соответственно;

$F_1, F_2$  – площади в плане растворных и расходных баков соответственно, м<sup>2</sup>;

$n_1, n_2$  – количество растворных и расходных баков соответственно.

### 2. Известковое хозяйство.

Расчетный расход воздуха, необходимый для перемешивания известкового молока в баках определяется из условия интенсивности подачи  $\omega = 8 - 10$  л/(с·м<sup>2</sup>) по формуле:

$$Q_{\text{возд}}^{\text{изв}} = \omega \cdot (F_1 \cdot n_1 + F_2 \cdot n_2), \text{ л/с}, \quad (4.2)$$

где  $\omega$  – интенсивности подачи воздуха для перемешивания известкового молока в баках, л/(с·м<sup>2</sup>), 8 – 10 л/с·м<sup>2</sup>;

$F_1, n_1$  – соответственно площадь и количество баков-хранилищ;

$F_2, n_2$  – соответственно площадь и количество растворных баков.

Если по технологической схеме требуется подача воздуха как для коагулянтного, так и для известкового хозяйства, то рекомендуется использовать общее воздухоподводящее оборудование, рассчитанное на суммарный расход воздуха.

По полученному расчетному расходу воздуха подбирается воздуходувка необходимой производительности  $W$ . В реагентных хозяйствах применяются воздуходувки типов ВК, РМК и ТВ. Технические характеристики воздуходувок типа ВК представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Подача воздуходувок типа ВК в зависимости от избыточного давления

Избыточное давление, м	Подача, м <sup>3</sup> /мин, воздуходувок марок			
	ВК-1,5	ВК-3	ВК-6	ВК-12
3	1,59	3,48	6,3	10,5
6	1,4	3,1	5,7	10,4
8	1,18	2,54	5	10,3
10	0,91	2,09	4,5	10,2
12	0,64	1,84	4,2	9,9
14	0,38	0,98	3,6	9,6
16	0,18	0,55	2,75	9,2
18	0	0	1,9	8,9
22	-	-	0	7,8

Диаметр воздухораспределительных труб принимают из расчета скорости движения в них воздуха 10 – 15 м/сек, а число отверстий ( $d_{\text{отв}} = 3 - 4$  мм) – по скорости выхода из них воздуха, равной 20 – 30 м/сек.

Скорость движения воздуха в трубопроводе определяется

$$v = \frac{W}{60 \cdot (\rho + 1) \cdot 0,785 \cdot d^2}, \text{ м/сек}, \quad (4.3)$$

где  $W$  – производительность воздуходувки, м<sup>3</sup>/мин;  
 $p$  – давление в воздухопроводе (обычно  $p = 1,5$  кгс/см<sup>2</sup>);  
 $d$  – диаметр воздуховода, м.

Потери давления воздуха определяют по формуле:

$$p_1 = \frac{12,5 \cdot \beta \cdot G^2 \cdot L}{\gamma \cdot d^5}, \text{ кгс/см}^2, \quad (4.4)$$

где  $\beta$  – коэффициент сопротивления, принимаемый по данным табл. 4.2 в зависимости от  $G$ ;

$G$  – вес воздуха, проходящего через трубопровод в течение 1 часа, кг/ч:

$$G = W \cdot 60 \cdot \gamma, \text{ кг/ч}, \quad (4.5)$$

где  $L$  – длина воздухопровода, м;

$d$  – диаметр трубопровода, мм;

$\gamma$  – удельный вес сухого воздуха, по данным табл. 4.3 в зависимости от давления.

Потери напора в фасонных частях воздухопровода равны:

$$p_2 = 0,063 \cdot v^2 \cdot \sum \xi, \text{ мм вод. ст.}, \quad (4.6)$$

где  $v$  – скорость движения воздуха, м/с;

$\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Таблица 4.2 – Значения коэффициента  $\beta$  в зависимости от величины  $G$

$G$ , кг/ч	$\beta$	$G$ , кг/ч	$\beta$
10	2,03	400	1,18
15	1,92	650	1,1
25	1,78	1000	1,03
40	1,68	1500	0,97
65	1,54	2500	0,9
100	1,45	4000	0,84
150	1,36	6500	0,78
250	1,26		

Таблица 4.3 – Значения величин удельного веса сухого воздуха  $\gamma$  в кг/м<sup>3</sup>

Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Значение $\gamma$ при температуре в °С							
	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
1	1,406	1,35	1,299	1,251	1,207	1,166	1,128	1,058
2	2,812	2,701	2,589	2,583	2,414	2,332	2,555	2,115
4	5,624	5,402	5,196	5,006	4,829	4,664	4,51	4,232
6	8,426	8,102	7,794	7,509	7,244	6,996	6,765	6,346
8	11,25	10,8	10,39	10,01	9,658	9,328	9,02	8,464
10	14,06	13,5	12,99	12,51	12,07	11,66	11,28	10,58

Суммарные потери давления

$$\sum p = p_1 + p_2, \text{ м. вод. ст.} \quad (4.7)$$

Необходимую мощность электродвигателя определяют по формуле:

$$N_{\text{н}} = \frac{Q \cdot H}{102 \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (4.8)$$

где  $Q$  – количество воздуха, перемещаемое воздуходувкой,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $H$  – давление воздуха, мм вод. ст.;  
 $\eta$  – КПД воздуходувки, составляет 0,4 – 0,9.

**Задача №4.1** Произвести расчет воздуходувки и воздухопроводов для реagentного хозяйства коагулянта, состоящего из трех растворных баков (размеры 1,5×2 м) и двух расходных баков (размеры 2,5×3 м). Длина воздухопровода 20 м, на воздуховоде имеется пять прямоугольных колен ( $\xi=1,5$ ).

## 5 РАСЧЕТ ОБЕЗЗАРАЖИВАЮЩИХ УСТАНОВОК

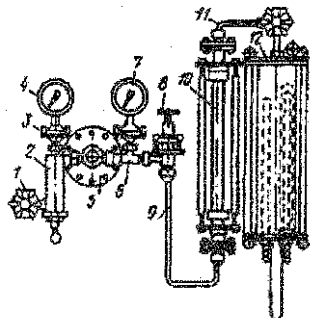
Обеззараживание воды применяют с целью уничтожения имеющихся в ней бактерий. Оно достигается обычно путем хлорирования воды жидким (газообразным) хлором или раствором хлорной извести (установка производительностью не более 3000  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ). Обеззараживание воды может быть также достигнуто озонированием или действием на нее бактерицидных лучей, представляющих часть ультрафиолетового спектра.

### 5.1 Обеззараживание воды хлором

Обычно на очистных сооружениях водоподготовки хлор вводится в два этапа. Первый – *предварительное хлорирование* для улучшения хода коагуляции и обесцвечивания воды, а также для улучшения санитарного состояния сооружений. Доза хлора при предварительном хлорировании  $D'_0 = 3 \dots 10$  мг/л. Хлор рекомендуется вводить за 1...3 мин. до ввода коагулянтов. Второй – *собственно обеззараживание*. Дозу активного хлора следует принимать для поверхностных вод после фильтрования  $D''_0 = 2 \dots 3$  мг/л, для вод подземных источников 0,7...1 мг/л. При этом концентрация остаточного хлора в воде должна отвечать СанПиН 10–124 РБ99 «Вода питьевая», то есть быть в пределах 0,3...0,5 мг/л.

При очистке сточных вод для снижения Coli-форм на 99,9 % требуются следующие дозы хлора,  $\text{г}/\text{м}^3$ : после механической очистки – 10; после химической очистки 3–10; после полной и неполной биологической очистки – 3–5; после фильтрования на песчаных фильтрах – 2–5. Количество остаточного хлора в сточной воде должно быть не менее 1,5  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Существуют различные конструкции хлораторов. Наиболее распространенным является вакуумный хлоратор системы ЛОНИИ-СТО (рис. 5.1). Технические характеристики хлораторов ЛОНИИ-СТО представлены в табл. 5.1.



- 1 – запорный вентиль;
- 2 – фильтр;
- 3 – мембранная камера;
- 4 и 7 – манометры;
- 5 – редукционный клапан;
- 6 – тройник;
- 8 – регулирующий вентиль;
- 9 и 11 – соединительные трубки;
- 10 – ротаметр;
- 12 – смеситель хлоргаза с водой

Рисунок 5.1 – Хлоратор ЛОНИИ-СТО

Количество хлораторов должно быть не менее двух. При количестве рабочих хлораторов до четырех предусматривается один резервный, а более пяти – два резервных.

В хлораторной размещают расходные хлорные баллоны или бочки, которые устанавливаются на специальные весы для дополнительного контроля за расходом хлора. Между расходным хлорным баллоном и хлоратором размещается промежуточный баллон для очищения хлора от загрязнений. В аппаратной размещают хлораторы и промежуточные хлорные баллоны.

Последовательность расчета хлораторной установки:

1. Расчетный часовой расход хлора для хлорирования воды в два этапа:

$$Q_{Cl} = \frac{Q_{сут} \cdot (D'_{Cl} + D''_{Cl})}{24 \cdot 1000}, \text{ кг/ч}, \quad (5.1)$$

где  $Q_{сут}$  – расход воды, м<sup>3</sup>/сут;

$D'_{Cl}$ ,  $D''_{Cl}$  – доза хлора соответственно для предварительного и вторичного хлорирования, мг/л.

2. Осуществляется подбор хлораторов для дозирования хлора по табл. 5.1. Принимается необходимое количество рабочих и резервных хлораторов. По количеству хлораторов принимается соответствующее количество промежуточных хлорных баллонов.

Таблица 5.1 – Технические характеристики хлораторов ЛОНИИ-СТО

Производительность по хлоргазу, кг/ч	Тип ротаметра	Напор воды перед эжектором, кгс/см <sup>2</sup>	Подпор после эжектора, м вод. ст.	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	Вес, кг
0,08...0,72	PC-3	2,5	-	2	37,5
0,21...1,28					
0,4...2,05					
1,28...8,1	PC-5	3...3,5	5	7,2	37,5
2,05...12,8					
3,28...20,5					
20,5...82	PC-7	3...4	5	-	-

При производительности хлораторной более 250 кг/сут помещение разделяется стеной на две части: собственно хлораторную и аппаратную с запасным выходом из каждой.

3. Количество расходных хлорных баллонов:

$$n_{бал} = \frac{Q_{Cl}}{S_{бал}}, \text{ шт}, \quad (5.2)$$

где  $S_{бал}$  = 0,5...0,7 кг/ч – сьем хлора с одного баллона без искусственного подогрева при температуре воздуха в помещении 18°С.

Технические характеристики баллонов этого типа представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Техническая характеристика баллонов типа Е

Вместимость баллона, л	Длина баллона L, мм	Масса, кг	Вместимость баллона, л	Длина баллона L, мм	Масса, кг
20	770	34	36	1265	50
25	925	40,5	40	1390	60
27	985	43	45	1545	66,5
30	1080	47	50	1700	73
33	1170	51	55	1855	79,5

4. Для уменьшения количества расходных баллонов в хлораторной устанавливаются стальные бочки-испарители. Количество бочек:

$$n_b = \frac{Q_{Cl}}{q_b}, \text{ шт.}, \quad (5.3)$$

где  $q_b$  – съем хлора с одной бочки:

$$q_b = F_b \cdot S_{Cl}, \text{ кг/ч}, \quad (5.4)$$

где  $S_{Cl}$  – съем хлора с 1 м<sup>2</sup> боковой поверхности бочки, составляет 3 кг/ч;  
 $F_b$  – боковая поверхность бочки, м<sup>2</sup>:

$$F_b = l \cdot \pi \cdot D_b, \text{ м}^2, \quad (5.5)$$

где  $l$ ,  $D_b$  – соответственно длина и внутренний диаметр бочки, м, принимаются по табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Техническая характеристика бочек (контейнеров) для жидкого хлора

Объем бочки (контейнера), л	Масса тары, кг	Масса жидкого хлора, кг	Объем жидкого хлора, л	Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>	Внутренний диаметр, мм	Общая длина, мм
500	428	640	410	15	640	1800
800	660	1000	600	15	800	1870
1000	970	1260	800	15	930	1925

5. Для пополнения расхода хлора из бочки его переливают из стандартных баллонов емкостью 55 л (см. табл. 5.2), создавая разрежение в бочках путем отсоса хлор-газа эжектором. Это мероприятие позволяет увеличить съем хлора  $S'_{бан}$  до 5 кг/ч с одного баллона и, следовательно, сократить количество одновременно действующих расходных баллонов:

$$n'_{бан} = \frac{Q_{Cl}}{S'_{бан}}, \text{ шт.} \quad (5.6)$$

6. Суточная потребность в баллонах с жидким хлором:

$$N_{бан} = \frac{24 \cdot Q_{Cl}}{55}, \text{ шт.}, \quad (5.7)$$

где 55 – емкость одного баллона, л.



7. Общее количество баллонов, размещаемых в хлораторных, состоит из суточного количества баллонов и резервного количества баллонов (50 % от суточного количества баллонов):

$$N = N_{\text{бал}} + 0,5 \cdot N_{\text{бал}}, \text{ шт.} \quad (5.8)$$

8. Для обеспечения весового контроля расхода хлора каждая бочка-испаритель в горизонтальном положении размещается на платформе весов. Технические характеристики весов представлены в табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Технические характеристики весов циферблатных типа РП

Параметр	Марка весов			
	РП-600Ц136	РП-2Ц13М	РП-150Ц13Т	РП-100Ц13Т
Пределы взвешивания, кг	300...600	100...2000	7,5...150	5...100
Цена деления, кг	0,2	1	0,2	0,1
Масса, кг	315	444	185	185

9. Определение количества баллонов, размещаемых на складах.

9.1. При суточном расходе хлора более трех баллонов, при хлораторной надо предусмотреть хранение трехсуточного запаса хлора:

$$n_{\text{бал}} = N_{\text{бал}} \cdot 3, \text{ шт.} \quad (5.9)$$

9.2. Основной запас хлора хранится вне очистной станции на расходном складе, рассчитанном на месячную потребность в хлоре:

$$n_{\text{бал}} = \frac{24 \cdot Q_{\text{Cl}} \cdot 30}{55}, \text{ шт.} \quad (5.10)$$

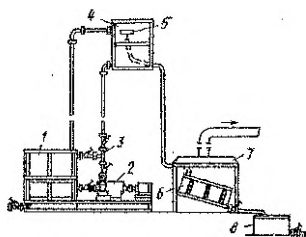
**Задача 5.1** Рассчитать хлораторную установку для станции очистки питьевой воды производительностью  $Q_{\text{сут}} = 40000 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Хлор вводится в воду в два этапа: первичное хлорирование  $D'_{\text{Cl}} = 5 \text{ мг/л}$ , вторичное хлорирование  $D''_{\text{Cl}} = 2 \text{ мг/л}$ .

### 5.2 Обеззараживание воды гипохлоритом натрия

Гипохлорит натрия ( $\text{NaClO}$ ) – сильный окислитель, по своей бактерицидной эффективности и влиянию на технологические показатели качества обрабатываемой воды равноценен действию жидкого хлора, хлорной извести и порошкообразного гипохлорита кальция.

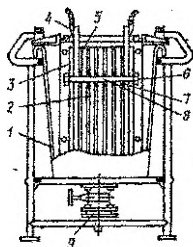
Разработаны электролизные установки для получения обеззараживающего хлорагента гипохлорита натрия на месте потребления из обычной технической соли, который основан на получении хлора и его взаимодействии со щелочью в одном и том же аппарате – электролизере.

В состав электролизной установки входят: узел для растворения соли; электролизер с зонтом вытяжной вентиляции; бак-накопитель готового раствора; выпрямительный агрегат для питания электролизера; шкаф управления и запорная арматура. Серийно выпускаются электролизные установки ЭН непроточные с графитовыми электродами пропускной способностью до 100 кг/сут. по активному хлору (рис. 5.2, 5.3). Техническая характеристика установок типа ЭН приведена в табл. 5.5.



1 – растворный бак; 2 – насос;  
3 – распределительный тройник;  
4 – рабочий бак; 5 – поплавков-дозатор;  
6 – электролизер; 7 – зонт вытяжной  
вентиляции; 8 – бак-накопитель  
гипохлорита натрия

**Рисунок 5.2 – Технологическая схема  
получения гипохлорита натрия  
на электролизной установке  
с графитовыми электродами**



1 – электролитическая ванна; 2 – пакет  
графитовых электродов; 3 – накладки;  
4 – токоподводящие электроды;  
5 – промежуточные электроды;  
6 – зажимные гайки; 7 – фиксирующие  
шайбы; 8 – стяжки; 9 – вентиль  
для слива готового продукта

**Рисунок 5.3 – Схема электролизной  
установки непроточного типа**

Последовательность расчета электролизной установки.

1. Расчетный расход хлора

$$Q_{Cl} = \frac{Q_{сут} \cdot (D_{Cl}^I + D_{Cl}^{II})}{1000}, \text{ кг/сут.}, \quad (5.11)$$

где  $Q_{сут}$  – расход воды, м<sup>3</sup>/сут.;

$D_{Cl}^I, D_{Cl}^{II}$  – доза хлора соответственно для предварительного и вторичного хлорирования, мг/л.

2. Принимается тип электролизной установки и их количество.

Таблица 5.5 – Техническая характеристика установок типа ЭН

Характеристика узла или установки	Электролизер		
	ЭН-1	ЭН-5	ЭН-25
Производительность по активному хлору, кг/сут.	1,0	5,0	25
Удельный расход соли на 1 кг активного хлора, кг	12-15	12-15	8-9
Продолжительность цикла электролиза, ч	0,75-1,0	8-9	10-12
Рекомендуемое число циклов в сутки	2-4	2	2
Концентрация активного хлора в растворе, г/л	5-7	6-8	10-12
Рабочее напряжение на ванне, В	40-42	40-42	55-65
Рабочий ток, А	55-65	55-65	130-140
Удельный расход электроэнергии на 1 кг активного хлора, кВт/ч	7-9	7-9	8-10

3. Суточный расход поваренной соли по чистому реагенту

$$Q_{сут}^{NaCl} = Q_{Cl} \cdot q_{уд}^{NaCl}, \text{ кг/сут.}, \quad (5.12)$$

где  $q_{уд}^{NaCl}$  – удельный расход соли на 1 кг активного хлора, кг (табл. 5.5).

#### 4. Объем растворных баков-хранилищ

$$W_{xp} = \frac{Q_{сут}^{NaCl} \cdot T \cdot 100}{b_n \cdot \gamma}, \text{ м}^3, \quad (5.13)$$

где  $T$  – продолжительность хранения, сут., принимается 15–30 сут.;  
 $b_n$  – концентрация насыщенного раствора соли, %, принимается  $b_n = 23$ –31 %;  
 $\gamma$  – плотность соли, кг/м<sup>3</sup>, принимается  $\gamma = 2100$  кг/м<sup>3</sup>.

Принимается количество баков и их размеры в плане.

#### 5. Объем рабочих баков

$$W_p = \frac{Q_{сут}^{NaCl} \cdot 100}{b_p \cdot \gamma}, \text{ м}^3, \quad (5.14)$$

где  $b_p$  – концентрация рабочего раствора соли, %, принимается 10–12 %.

**Задача №5.2** Рассчитать электролизную установку для станции очистки сточных вод производительностью  $Q_{сут.} = 20000$  м<sup>3</sup>/сут. Необходимая доза хлора для сточных вод, прошедших полную биологическую очистку  $D_{Cl} = 3$  мг/л.

## 6 РАСЧЕТ И ПОДБОР СЪЕМНЫХ И ЛЕНТОЧНЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ СОРОУДЕРЖИВАЮЩИХ СЕТОК

Для задержания мелких взвешенных и плавающих тел, находящихся в воде поверхностных источников и незадержанных решетками, предназначаются сетки, которые в ряде случаев завершают очистку воды, идущей на производственные цели. Сетки устанавливаются в водозаборных сооружениях непосредственно за решетками, служащими для грубой очистки воды.

В настоящее время применяется два типа сетки – съемная плоская и вращающаяся ленточная.

**Сетки съемные плоские.** Применяются при производительности водозаборных сооружений до 1 м<sup>3</sup>/с.

Достоинства: просты по устройству; в очень незначительной степени увеличивают размер водозаборного сооружения.

Недостаток: ручная промывка является сложным процессом.

**Сетки вращающиеся ленточные.** Применяются в водоемах со средними, тяжелыми и очень тяжелыми условиями загрязненности при производительности водозаборов более 1 м<sup>3</sup>/с. Сетки вращающиеся имеют значительные преимущества перед сетками съемными, так как ряд операций – подъем сеток, промывка их и удаление извлеченных загрязнений – осуществляется автоматически, что позволяет полностью автоматизировать установки с вращающимися очистными сетками.

По способу подвода к сеткам загрязненной воды и отвода от них чистой различают вращающиеся сетки следующих типов:

– с внутренним односторонним подводом и двухсторонним отводом чистой воды;

– с внешним двухсторонним подводом воды и двухсторонним (или односторонним) отводом чистой воды;  
 – с лобовым односторонним подводом воды (нормально к плоскости сеток) и процеживанием ее последовательно через два полотна сетки.

Техническая характеристика вращающихся каркасных сеток типа с внешним подводом воды представлена в таблице 6.1.

Гидравлический расчет съёмных и ленточных вращающихся сеток. От правильного расчета и выбора основных параметров сетки зависит её нормальная работа. Параметры:

- выбор схемы подвода воды;
- размер ячеек полотна сетки: съёмных – в зависимости от качества забираемой воды и технологических требований потребителей, вращающихся сеток – на основании опытных ориентировочных данных для различных отраслей промышленности;
- скорость движения воды – влияет на скорость засорения и общую площадь сетки, погруженной в воду;
- потери напора при движении воды через сетку – во вращающихся сетках колеблются от 1 до 10 см, иногда достигают 20–30 см.

Таблица 6.1 – Техническая характеристика вращающихся каркасных сеток типа с внешним подводом воды типа ТН

Марка сетки	Пропускная способность, м <sup>3</sup> /с	Размеры, мм				Масса, т
		Расстояние между звездочками, Н	Ширина полотна сетки, В	Высота агрегата сетки, h <sub>2</sub>	Радиус закругления сетки, R	
ТН-1500	1-5	5000-20000	1500	1200	730	1,1–1,4 на 1 м расстояние между звездочками
ТН-2000	1,5-7		2000	1150	730	
ТН-2500	2-8		2500	1280	1075	
ТН-3000	2-10		3000	1300	1425	

Примечания: 1. Производительность сеток и расстояние между звездочками  $H$  определяются местными условиями в зависимости от высоты водозабора и глубины погружения сетки под расчетный уровень.  
 2. Расход промывной воды 15–20 л/с при напоре 15–20 м.  
 3. Тип электродвигателя АОС2-41-6, мощность 4 кВт, частота вращения 970 об/мин.  
 4. Скорость движения сетки 4 м/мин.

Необходимая площадь съёмной сетки  $F_c$ , м<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$F_c = \frac{Q_p}{v_p \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}, \text{ м}^2, \quad (6.1)$$

где  $Q_p$  – расчетный расход воды на 1 сетку, м<sup>3</sup>/с;  
 $v_p$  – скорость движения воды в сетке, м/с, для съёмных сеток – 0,2–0,4 м/с;  
 $\eta_1$  – коэффициент сжатия струи, принимается 0,8;  
 $\eta_2$  – коэффициент стеснения живого сечения сетки проволокой

$$\eta_2 = \frac{B^2}{(B+d)^2}, \quad (6.2)$$

где  $B$  – размер ячейки сетки в свету, мм, принимается от 2×2 до 5×5 мм;  
 $d$  – диаметр проволоки полотна сетки, мм, принимается 1–1,2 мм;  
 $\eta_3$  – коэффициент загрязнения сетки, принимается для съёмных сеток 0,7.

Необходимая площадь вращающейся сетки  $F_{вр}$ , м<sup>2</sup>, погруженной под водой, определяется по формуле:

$$F_{вр} = \frac{Q_p}{v_p \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}, \text{ м}^2, \quad (6.3)$$

где  $Q_p$  – расчетный расход воды на 1 сетку, м<sup>3</sup>/с;

$v_p$  – скорость движения воды в сетке, м/с, для вращающихся сеток – 0,8 – 1,2 м/с;

$\eta_1$  – коэффициент сжатия струи, принимается 0,8;

$\eta_2$  – коэффициент стеснения живого сечения сетки проволокой

$$\eta_2 = \frac{B^2}{(B+d)^2}, \quad (6.4)$$

где  $B$  – размер ячейки сетки в свету, мм, принимается от 2×2 до 5×5 мм;

$d$  – диаметр проволоки полотна сетки, мм, принимается 1–1,2 мм;

$\eta_3$  – коэффициент загрязнения сетки, принимается для вращающихся сеток 0,85;

$\eta_4$  – коэффициент уменьшения площади сетки опорными рамками и шарнирами, принимается 0,75.

Площадь полотна вращающейся сетки,  $F_{вр}$ , м<sup>2</sup>, будет:

– для сеток с лобовым подводом воды:

$$F_{вр} = B \cdot h, \text{ м}^2, \quad (6.5)$$

где  $B$  – ширина полотна сетки, м, (осевое расстояние между звездочками противоположных цепей);

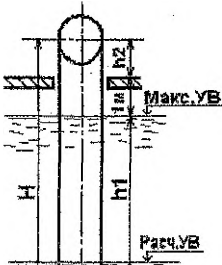
$h$  – глубина погружения сетки под расчетный уровень, м, принимается 1,5 – 7,0 м.;

– для сеток с внутренним и внешним двусторонним подводом воды:

$$F_{вр} = B \cdot (\pi \cdot R + 2 \cdot h), \text{ м}^2, \quad (6.6)$$

где  $R$  – радиус закругления сетки, м.

Таким образом, глубина погружения под расчетный уровень  $h$ , м, составит для сеток:



**Рисунок 6.1 – Схема для гидравлического расчета вращающейся сетки**

– с лобовым подводом воды:

$$h = \frac{F_{вр}}{B}, \text{ м}, \quad (6.7)$$

– с внутренним и внешним двусторонним подводом воды:

$$h = \frac{F_{вр} - \pi \cdot B \cdot R}{2 \cdot B}, \text{ м}, \quad (6.8)$$

Рассчитав глубину погружения сетки под расчетный уровень  $h$ , а также имея величину заданного для данного источника колебания уровня  $h_1$ , определяют общую высоту  $H$  – расстояние между центрами звездочек полотна сетки:

$$H = h + h_1 + h_2 + 1, \text{ м,} \quad (6.9)$$

где  $h_2$  – высота агрегата сетки (расстояние от оси верхней звездочки до пола, на котором устанавливается приводной механизм сетки), м.

**Задача № 6.1** Определить расчетный расход воды, который пропустит одна съемная сетка площадью  $F_c = 2 \text{ м}^2$  при диаметре проволоки 1 мм, размер ячейки в свету  $2 \times 2 \text{ мм}$ .

**Задача № 6.2** Определить расчетный расход воды, который пропустит одна вращающаяся сетка площадью  $F_c = 10 \text{ м}^2$  при диаметре проволоки 1,2 мм, размер ячейки в свету  $3 \times 3 \text{ мм}$ .

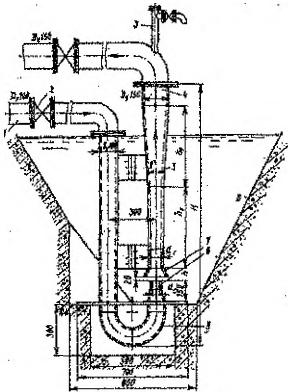
**Задача № 6.3** Определить общую высоту вращающейся сетки  $H$ , м, с внешним двусторонним подводом воды при расчетном расходе воды через сетку  $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . Расчетный уровень воды 75,48 м, максимальный уровень воды – 80,0 м, диаметр проволоки 1,0 мм, размер ячейки в свету  $2 \times 2 \text{ мм}$ .

## 7 РАСЧЕТ И ПОДБОР ГИДРОЭЛЕВАТОРОВ И ЭРЛИФТОВ

### 7.1 Водоструйные насосы (гидроэлеваторы)

Гидроэлеваторы стационарные или переносные применяются для удаления осадков из водоприемных камер в небольших водозаборах, для откачки песка из песколовок, для удаления дренажных вод в насосных станциях и т. п.

Гидроэлеватор (рис 7.1) представляет собой струйный аппарат, преобразующий кинетическую энергию потока рабочей жидкости, истекающей из сопла, в энергию динамического напора смешанного потока, состоящего из рабочей и перекачиваемой жидкости, образующих пульпу.



- 1 – напорный водовод;
- 2 – задвижка;
- 3 – патрубок для прочистки;
- 4 – отводной патрубок;
- 5 – диффузор;
- 6 – водоприемная камера;
- 7 – смесительная камера;
- 8 – суженное сечение;
- 9 – напорный патрубок

**Рисунок 7.1 – Стационарный стальной гидроэлеватор**

Преимущества гидроэлеваторов: просты по конструкции, на их изготовление расходуется очень мало металла, для их установки не требуется специальных производственных помещений, просты в обслуживании, надежны в работе, отличаются простотой ремонта. К недостаткам гидроэлеваторов относятся большой расход воды и низкий КПД, равный 0,15–0,25.

Гидроэлеватор стальной сварной, приведенный на рис. 7.1, разработан двух типоразмеров: 1) диаметр сопла  $d_c = 30 \text{ мм}$  и горловины  $d_g = 55 \text{ мм}$  с производи-

тельностью по осадку 8–35 л/с и напором 25–5 м; 2)  $d_c = 40$  мм и  $d_e = 80$  мм с производительностью 20–65 л/с и напором 18–5 м.

Характеристики гидроэлеваторов (рис. 7.2 и 7.3) показывают зависимость напора гидроэлеватора от количества перекачиваемой пульпы  $H_T = f(Q_2)$ . По этим характеристикам можно подобрать гидроэлеваторы для различных местных условий.

Условные обозначения на характеристиках.

$Q_1$  – расход рабочей воды, л/с;

$Q_2$  – количество перекачиваемого осадка, л/с;

$Q_Z = Q_1 + Q_2$  – количество перекачиваемой пульпы, л/с;

$H_T$  – напор на выходе после диффузора, м;

$H_c$  – напор рабочей жидкости, м;

$H_{п.г.} = H + h$  – потребный напор на выходе после диффузора, м;

$H$  – высота подъема пульпы от выходной кромки сопла гидроэлеватора, м;

$h$  – суммарные гидравлические потери напора в пульпопроводе, м;

$\eta$  – КПД гидроэлеватора.

При привязке типового проекта гидроэлеватора к конкретному объекту исходными данными являются:  $Q_2$  – количество перекачиваемого осадка, л/с,  $H$  – высота подъема пульпы от выходной кромки сопла гидроэлеватора, м,  $h$  – суммарные гидравлические потери напора в пульпопроводе, м. Суммарные гидравлические потери предварительно принимаются ориентировочно, и лишь после определения количества перекачиваемой пульпы значение их уточняется.

Возможность использования типового гидроэлеватора для конкретных исходных данных определяется в такой последовательности:

1. Определяется потребный напор гидроэлеватора после диффузора

$$H_{п.г.} = H + h.$$

2. На характеристике гидроэлеватора проводится горизонтальная прямая от точки рассчитанного выше потребного напора  $H_{п.г.}$  до точки А на кривой расхода перекачиваемого осадка  $Q_2$ .

3. Из полученной точки А опускаем вертикальную линию на ось абсцисс и определяем количество перекачиваемой гидроэлеватором пульпы  $Q_2$ .

4. По полученному значению  $Q_2$  уточняем значение  $h$ . В случае больших расхождений с ранее принятыми гидравлическими потерями пересчитываем значения  $H_{п.г.}$  и  $Q_2$ .

5. Из полученной точки А путем интерполяции строим зависимость  $H_{п.г.} = f(Q_2)$  и кривую, определяющую значение коэффициента полезного действия гидроэлеватора  $\eta$ . По полученным кривым определяем значения расхода рабочей жидкости  $Q_1$ , напора рабочей жидкости перед соплом  $H_c$  и коэффициента полезного действия гидроэлеватора  $\eta$ .

Расход  $Q_1$  и напор  $H_c$  рабочей жидкости могут быть обеспечены путем соединения гидроэлеватора к напорному водопроводу или специальному насосу, получившим рабочую воду из какого-либо источника.

Пример 1. На графике (см. рис. 7.2) дан пример подбора гидроэлеватора, имеющего  $d_c = 30$  мм и  $d_e = 55$  мм при следующих исходных данных:  $Q_2 = 20$  л/с,  $H = 10$  м,  $h = 3$  м.

Решение показано пунктирной линией. Искомые данные:  $Q_1 = 21,5$  л/с,  $H_c = 52,28$  м,  $\eta = 0,257$ ,  $Q_Z = 41,5$  л/с.

Пример 2. На графике (см. рис. 7.3) дан пример подбора гидроэлеватора, имеющего  $d_c = 40$  мм и  $d_a = 80$  мм при следующих исходных данных:  $Q_2 = 28$  л/с,  $H = 8$  м,  $h = 1$  м.

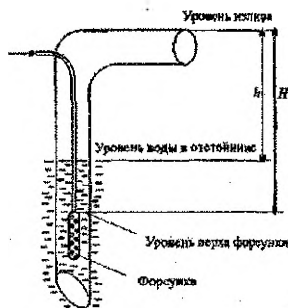
Решение показано пунктирной линией. Искомые данные:  $Q_1 = 31$  л/с,  $H_c = 34,3$  м,  $\eta = 0,237$ ,  $Q_Z = 56$  л/с.

**Задача №7.1** Определить расход и напор рабочей жидкости, а также КПД типового стационарного гидроэлеватора при следующих исходных данных:

- 1) количество перекачиваемого осадка 15 л/с, высота подъема пульпы от выходной кромки гидроэлеватора 12 м, потери напора в пульпопроводе 2 м;
- 2) количество перекачиваемого осадка 40 л/с, высота подъема пульпы от выходной кромки гидроэлеватора 10 м, потери напора в пульпопроводе 2 м;
- 3) количество перекачиваемого осадка 55 л/с, высота подъема пульпы от выходной кромки гидроэлеватора 7 м, потери напора в пульпопроводе 1 м;
- 4) количество перекачиваемого осадка 25 л/с, высота подъема пульпы от выходной кромки гидроэлеватора 6 м, потери напора в пульпопроводе 1 м.

## 7.2 Эрлифты

Эрлифты предназначены для отгрузки песка из песколовок, удаления сырого осадка из первичных отстойников, рециркуляции активного ила.



**Рисунок 7.4 – Схема эрлифта с расположением форсунки внутри пульпоподъемной трубы**

Эрлифт представляет собой вертикальную трубу, частично опущенную в жидкость. При подаче в нижний конец сжатого воздуха через форсунку образуются мелкие пузырьки воздуха, которые поднимаются вверх, увлекая за собой окружающую воду и смесь воды с осадком (пульпу).

В конструкциях эрлифтов существует два основных типа расположения форсунки: внутри пульпоподъемной трубы и рядом с ней. На рис. 7.4 представлена схема эрлифта для случая, когда форсунка располагается внутри пульпоподъемной трубы.

Расчет эрлифта заключается в определении расхода воздуха для подъема воды, выборе диаметров пульпоподъемной и воздушной трубы, определении производительности воздуходувки и её рабочее давление.

1. Коэффициент погружения форсунки  $K$ , рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{H}{h}, \quad (7.1)$$

где  $H$  – глубина погружения верха форсунки, м;  
 $h$  – высота подъема воды, м.



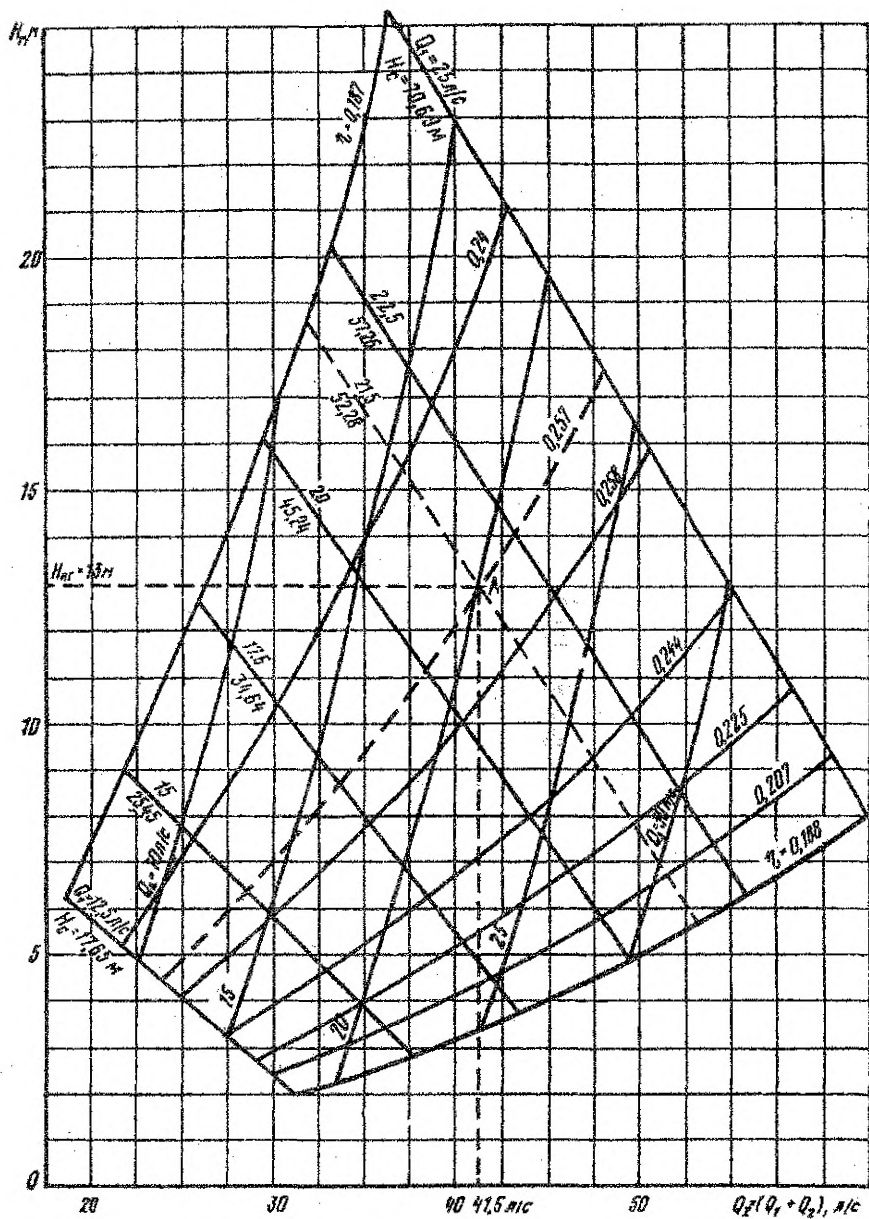


Рисунок 7.2 – Характеристика стационарного гидропневматора при  $d_c = 30$  мм и  $d_z = 55$  мм

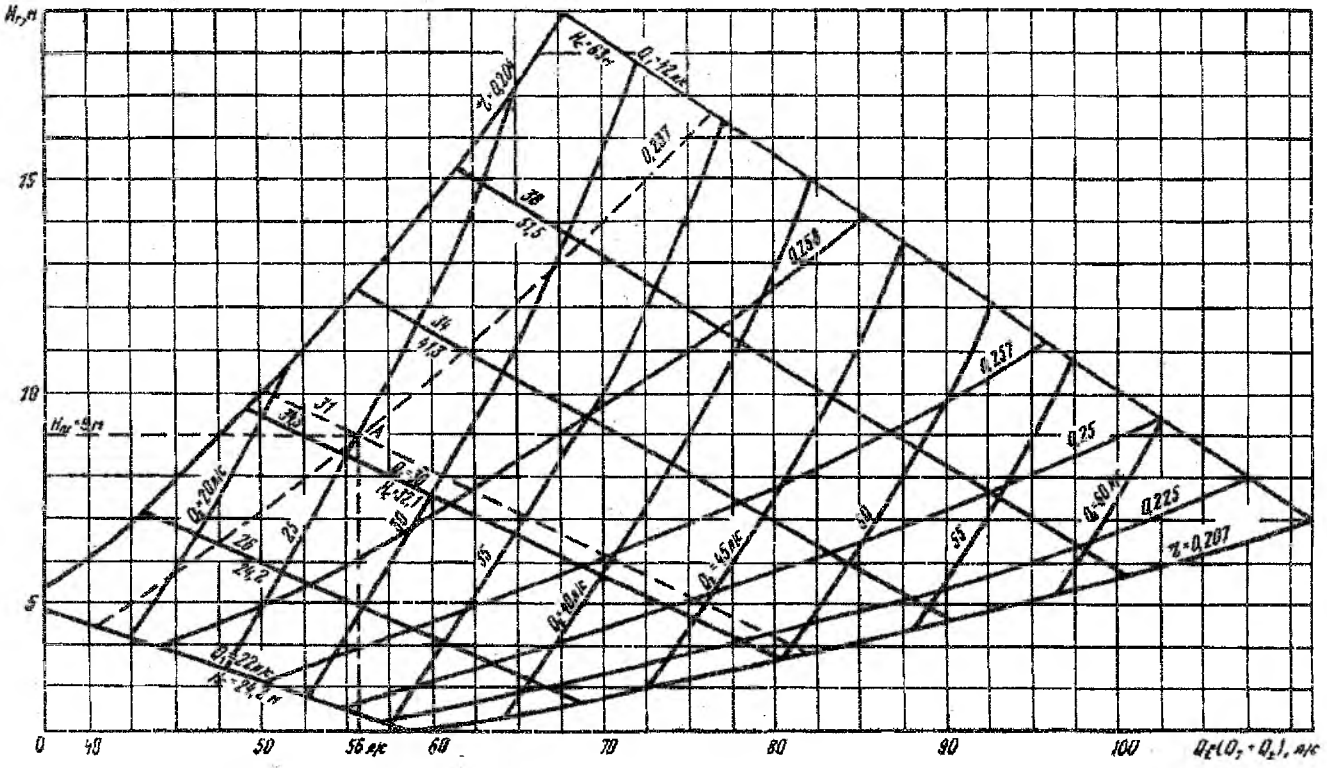


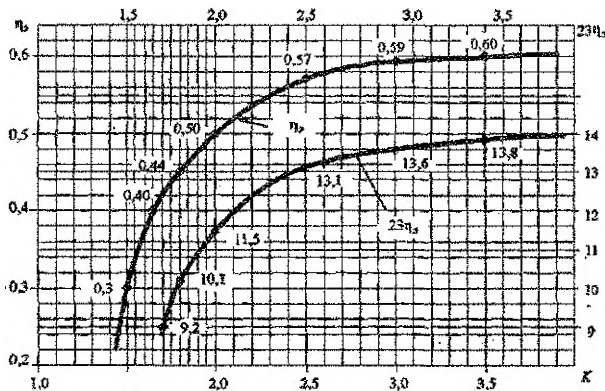
Рисунок 7.3 – Характеристика стационарного гидроэлеватора при  $d_c = 40$  мм и  $d_b = 80$  мм

2. Удельный расход воздуха,  $W_0$ , м<sup>3</sup>, т. е. количество воздуха, необходимое для подъема 1 м<sup>3</sup> смеси воды и осадка, рассчитывается по формуле:

$$W_0 = \frac{h}{23\eta_0 \lg \frac{h(K-1)+10}{10}}, \text{ м}^3, \quad (7.2)$$

где  $\eta_0$  – коэффициент полезного действия эрлифта.

Коэффициент полезного действия эрлифта  $\eta_0$  определяется опытным путем с учетом всех гидравлических потерь в эрлифте. Ориентировочно КПД эрлифта  $\eta_0$  можно принять в зависимости от коэффициента погружения форсунки  $K$ . Данная зависимость представлена на рис. 7.5, на ней также дана кривая величины  $23\eta_0$ , входящей в формулу (7.2).



**Рисунок 7.5 – Зависимость КПД эрлифта от коэффициента погружения форсунки  $K$**

3. Расход воздуха,  $W$ , м<sup>3</sup>/ч, для подъема смеси воды и осадка рассчитывается по формуле:

$$W = Q \cdot W_0, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7.3)$$

где  $Q$  – расход смеси воды и осадка, м<sup>3</sup>/ч.

Формулы (7.2) и (7.3) являются основными для расчета эрлифтов.

4. Необходимая производительность компрессора  $W_k$ , м<sup>3</sup>/ч, для обеспечения работы эрлифта определяется по формуле:

$$W_k = \alpha \cdot W, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7.4)$$

где  $\alpha$  – поправочный коэффициент, зависящий от температуры воздуха, его влажности, атмосферного давления, износа компрессора, потерь воздуха в трубопроводах, ориентировочно принимается  $\alpha = 1,1 \div 1,2$ .

По найденной производительности  $W_k$ , л/мин, по справочникам-каталогам производится подбор компрессора.

5. Диаметр пульпоподъемной трубы выбирается так, чтобы создать оптимальные условия для работы эрлифта. Наилучшие условия работы эрлифта получаются при скорости движения смеси непосредственно над форсункой 2,5–3,0 м/с и при изливе 6–8 м/с. При длинных пульпоподъемных трубах применяются ступенчатые трубы двух-трех диаметров (с уменьшением диаметра от глубины до поверхности уровня излива).

Диаметр пульпоподъемной трубы  $D_{\phi}$ , м, непосредственно над форсункой равен

$$D_{\phi} = \sqrt{\frac{Q}{0,785V_{\phi}}} \left[ 1 + \frac{W_0 \cdot 10}{H(K-1) + 10} \right], \text{ м.} \quad (7.5)$$

Диаметр пульпоподъемной трубы  $D_{и}$ , м, на уровне излива равен

$$D_{и} = \sqrt{\frac{Q}{0,785V_{и}}} [1 + W_0], \text{ м.} \quad (7.6)$$

В соотношениях (7.4) и (7.5)  $V_{\phi}$  и  $V_{и}$  – скорости смеси на форсунке и изливе соответственно, м/с;  $Q$  – расход смеси воды и осадка, м<sup>3</sup>/с.

6. Диаметр воздушной трубы подбирают с таким расчетом, чтобы скорость воздуха в ней была в пределах 5–10 м/с, а потери давления были возможно меньшими.

$$d_{\text{воз}} = \sqrt{\frac{W_k}{0,785 \cdot (p+1) \cdot V_{\text{воз}} \cdot 60}}, \text{ м,} \quad (7.7)$$

где  $V_{\text{воз}}$  – скорость воздуха в воздушной трубе, м/с;  
 $p$  – рабочее давление, атм.

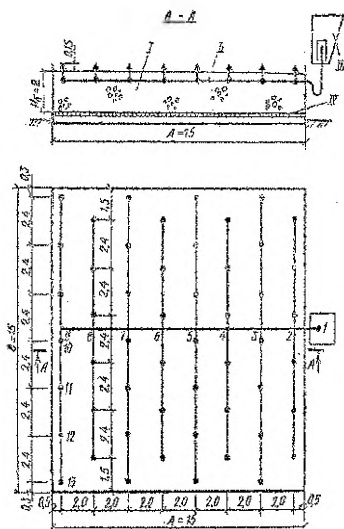
**Задача №7.2** Рассчитать эрлифт для перекачивания циркуляционного активного ила из вторичного отстойника. Суммарный расход ила из четырех вторичных отстойников 120 м<sup>3</sup>/ч, высота подъема ила 1,5 м.

## 8 РАСЧЕТ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

### 8.1 Оборудование биофильтров

Для обеспечения нормальной работы биофильтров необходимы равномерная по площади и периодическая по времени подача сточных вод. Распределение воды обеспечено спринклерными системами (неподвижные устройства) и реактивными вращающимися оросителями (подвижные устройства).

8.1.1 Спринклерная система орошения (рис. 8.1) состоит из распределительной камеры (дозировочного бака), разводящей сети и разбрызгивателей (спринклерных головок). Дозирующие баки выполняются из железобетона, разработаны дозирующие баки с сифонами диаметром 125–300 мм для станций производительностью 100–7000 м<sup>3</sup>/сут. Спринклеры изготавливают из полиэтилена или винилпласта, состоят из сопла диаметром 18–32 мм и отражателя. Разводящая сеть выполняется из стальных или чугунных труб укладываемых на глубину 0,5–0,8 м от поверхности биофильтра.



- I – фильтрующая загрузка;  
 II – водораспределительная сеть;  
 III – дозирующий бак;  
 IV – дренажное устройство;  
 1-13 – расчетные точки.

Рисунок 8.1 – Водораспределительная сеть капельного биофильтра

Расчет спринклерной системы орошения сводится к определению расхода воды из каждого разбрызгивателя (спринклера), необходимого их числа, диаметра разводящей сети, объема и времени работы дозирующего бака. При расчете водораспределительной сети начальный свободный напор у разбрызгивателей принимается около 1,5 м, конечный – не менее 0,5, диаметр отверстий разбрызгивателя 18...32 мм; высота расположения головки разбрызгивателя над поверхностью загрузки 0,15...0,2 м; глубина расположения водораспределительной сети – на 0,5 м от поверхности биофильтра; период орошения при  $Q_{\max}$  равен 5...6 мин.

Последовательность расчета спринклерной системы орошения.

1. Максимальный расход сточных вод на каждую секцию биофильтра равен:

$$Q_{\max} = \frac{Q \cdot K_{\text{общ}}}{N \cdot 24}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (8.1)$$

где  $Q$  – расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  
 $K_{\text{общ}}$  – максимальный коэффициент неравномерности;  
 $N$  – количество секций биофильтров.

2. Принимается статический напор у разбрызгивателей  $H_{\text{общ}}$ , м; высота расположения головки над поверхностью биофильтра, м; диаметр отверстий спринклерной головки  $d_{\text{отв}}$ , мм; глубина расположения водораспределительной сети.

3. Потери напора в сети для предварительного расчета принимаются равными 25 % общего напора и подсчитывается максимальный свободный напор у головки спринклера:

$$H_{\text{св}} = 0,75 \cdot H_{\text{общ}}, \text{ м}. \quad (8.2)$$

4. Определяется диаметр  $D_{\text{ор}}$ , м, и радиус  $R_{\text{ор}}$ , м, круга орошения каждого спринклера и максимальный расход спринклера  $q'_{\text{с, макс}}$ , л/с, по номограммам (рис. 8.2 а, б).

5. Определяется число рядов спринклеров  $n_{\text{р}}$  в секции биофильтра и число спринклеров  $n_{\text{с}}$ .

5.1. Расстояние между спринклерами в каждом ряду  $l_{\text{с}} = 1,73 \cdot R_{\text{ор}}$ , м. Располагаются в шахматном порядке.

5.2. Расстояние между рядами  $l_{\text{р}} = 1,5 R_{\text{ор}}$ , м.

5.3. Число рядов спринклеров в секции биофильтра  $n_{\text{р}} = A/l_{\text{р}}$ , где  $A$  – длина секции биофильтра, м.

5.4. Число спринклеров в одном ряду  $n'_{\text{с}} = B/l_{\text{с}}$ , где  $B$  – ширина секции биофильтра, м.

## 5.5. Общее число спринклеров $n_c$

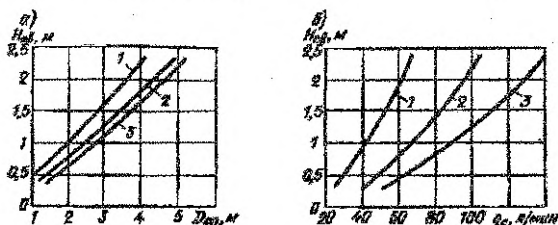


Рисунок 8.2 – Зависимость  $D_{ор}$  и  $q_c$  от  $H_{обс}$ :

1 – при  $d_{отв} = 19$  мм;

2 – при  $d_{отв} = 22$  мм;

3 – при  $d_{отв} = 25$  мм.

6. Расчет разводящей сети сводится к определению расходов, скоростей и диаметров участков сети, а также потерь напора в сети.

6.1. Потери напора в сети с учетом восстановительного напора и местных сопротивлений:

$$h = h_{дл} + h_m - h_b = \sum \frac{\lambda l}{D} \cdot \frac{v_k^2}{2g} + \sum \zeta \frac{v_k^2}{2g} - \sum \frac{v_{k+1}^2 - v_k^2}{2g}, \text{ м}, \quad (8.3)$$

где  $\lambda l/D$  – параметр, характеризующий потери напора по длине трубопровода;

$h_b = \sum \frac{v_{k+1}^2 - v_k^2}{2g}$  – восстановительный напор;

$v_{k+1}$ ,  $v_k$  – скорости движения воды в распределительных трубопроводах до и после ответвления.

Потери напора определяется для наиболее удаленного от дозирующего бака разбрызгивателя при скорости движения воды в магистральной трубе до 1 м/с, а в разводящих трубах, на которых установлены стояки с разбрызгивателями – до 0,75 м/с.

6.2. Свободный напор у головки спринклера равен:

$$H_{св} = H_{общ} - h, \text{ м}. \quad (8.4)$$

7. Расчет дозирующего бака.

7.1. Минимальный суммарный расход через спринклеры должен быть

$$Q_{с,мин} > 1,5 Q_{м,н,с}, \text{ л/с}. \quad (8.5)$$

Фактическое значение минимального суммарного расхода через спринклеры составит

$$Q_{с,мин} = q'_{с,мин} \cdot n_c, \text{ л/с}, \quad (8.6)$$

где  $q'_{с,мин}$  – минимальный расход через один спринклер при минимальном свободном напоре  $H_{св,мин} = 0,5$  м., определяется по номограмме рис. 8.2 б).

7.2. Рабочая глубина дозирующего бака

$$H_{раб} = H_{общ} - (H_{св,мин} + h_{мин}), \text{ м} \quad (8.7)$$

где  $h_{\text{мин}}$  – потери напора при минимальном расходе, м

$$h_{\text{мин}} = h \left( \frac{q'_{\text{с.мин}}}{q'_{\text{с.макс}}} \right)^2, \text{ м.}$$

### 7.3. Объем дозирующего бака

$$V_{\text{бак}} = (q_{\text{ср}} - Q_{\text{макс}}) \cdot t_{\text{оп}} \cdot 60, \text{ м}^3 \quad (8.8)$$

где  $q_{\text{ср}}$  – средний расход через сплинкеры, обслуживаемые дозировочным баком,

$$q_{\text{ср}} = \frac{(q'_{\text{с.макс}} + q'_{\text{с.мин}}) \cdot \eta_c \cdot 1,1}{2}, \text{ л/с}; \quad (8.9)$$

$t_{\text{оп}} = 1\text{--}5$  мин – продолжительность опорожнения бака.

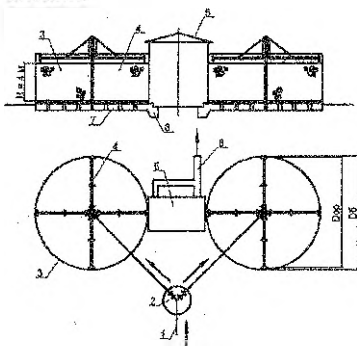
7.4. Продолжительность наполнения бака  $t_{\text{нап}}$ , мин, и полный цикл его работы  $t$ , мин:

$$t_{\text{нап}} = V/q_{\text{макс}}, \text{ МИН}; \quad (8.10)$$

$$t = t_{\text{нап}} + t_{\text{оп}}, \text{ МИН}. \quad (8.11)$$

**Задача № 8.1** Рассчитать водораспределительную систему капельного биофильтра при следующих исходных данных: расход сточных вод  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; максимальный коэффициент неравномерности  $K_{\text{общ}} = 2,73$ ; на станции биофильтрации запроектировано четыре секции биофильтров высотой  $H = 2$  м, размером  $A \times B = 15 \times 15$  м каждая (см. рис. 8.1).

8.1.2 **Реактивный ороситель** (рис. 8.3) состоит из стояка и дырчатых труб. Расчет реактивного оросителя состоит в определении его размеров, числа распределительных труб, числа отверстий на распределительных трубах, расстояний между отверстиями, числа оборотов оросителя и напора воды, обеспечивающего необходимые скорости истечения воды из отверстий оросителя.



- 1 – подача сточных вод;
- 2 – распределительная камера;
- 3 – фильтрующая загрузка;
- 4 – реактивный ороситель;
- 5 – вентиляционная камера;
- 6 – лотки для отвода сточных вод;
- 7 – дренажное устройство;
- 8 – гидрозатвор

**Рисунок 8.3 – Высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры) с реактивными оросителями**

Последовательность расчета реактивного оросителя.

1. Диаметр реактивного оросителя:

$$D_{\text{ор}} = D - 0,2, \text{ м}, \quad (8.12)$$

где  $D$  – диаметр биофильтра, м.

2. Принимается количество распределительных труб  $z$  и определяется их диаметр  $D_{тр}$  при условии движения жидкости в начале трубы  $0,5 < v < 1$  м/с.

$$D_{тр} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_1}{z \cdot \pi \cdot v}}, \text{ м}, \quad (8.13)$$

где  $q_1$  – общий расчетный расход воды, подаваемый на ороситель, м<sup>3</sup>/с.

3. Число отверстий на каждой распределительной трубе  $n_{отв}$  находится из условия скорости истечения из отверстия не менее 0,5 м/с, а диаметра отверстия  $d_{отв}$  не менее 10 мм:

$$n_{отв} = \frac{1}{1 - (1 - 80/D_{ор})^2}, \quad (8.14)$$

где  $D_{ор}$  – диаметр реактивного оросителя, мм.

4. Расстояние до любого отверстия от оси реактивного оросителя:

$$r_i = R_{ор} \sqrt{i/n_{отв}}, \text{ мм}, \quad (8.15)$$

где  $R_{ор}$  – радиус оросителя, мм;

$i$  – порядковый номер отверстия от оси реактивного оросителя.

5. Частота вращения реактивного оросителя:

$$n_o = \frac{34,8 \cdot 10^6}{n_{отв} \cdot d_{отв}^2 \cdot D_{ор}} \cdot \frac{q_1}{4}, \text{ МИН}^{-1}. \quad (8.16)$$

где  $d_{отв} = 15$  мм – диаметра отверстия;

$q_1$  – общий расчетный расход воды, подаваемый на ороситель, л/с.

6. Требуемый напор у реактивного оросителя определяется по формуле:

$$h_{ор} = \left(\frac{q_1}{z}\right)^2 \cdot \left(\frac{256 \cdot 10^6}{d_{отв}^4 \cdot n_{отв}^2} - \frac{81 \cdot 10^6}{D_{тр}^4} + \frac{294 \cdot D_{ор}}{k^2 \cdot 10^3}\right), \text{ мм} \quad (8.17)$$

где  $k$  – модуль расхода, зависящий от диаметра трубы, л/с, для труб диаметром 50...250 мм принимается по табл. 8.1

Таблица 8.1 – Значение величины  $k$

$D_{тр.}, \text{ мм}$	$k, \text{ л/с}$	$D_{тр.}, \text{ мм}$	$k, \text{ л/с}$	$D_{тр.}, \text{ мм}$	$k, \text{ л/с}$	$D_{тр.}, \text{ мм}$	$k, \text{ л/с}$
50	6	100	43	150	134	200	300
75	19	125	86,5	175	209	250	560

**Задача 8.2** Рассчитать реактивные оросители для высоконагружаемых биофильтров (аэрофильтров) при следующих исходных данных: расчетный расход сточных вод  $q_{общ} = 0,12$  м<sup>3</sup>/с; число биофильтров – два; диаметр биофильтра  $D = 12$  м, высота загрузки  $H = 4$  м.



## 8.2 Оборудование аэротенков

### 8.2.1 Пневматическая система аэрации аэротенков

Пневматическая аэрация заключается в подаче воздуха с помощью компрессора и распределении его в очищаемой жидкости посредством аэраторов.

В зависимости от степени диспергирования воздуха, крупности выходящих пузырьков различают мелкопузырчатые (крупность пузырьков воздуха 1–4 мм) и среднепузырчатые (крупность пузырьков воздуха 5–10 мм) пневматические аэраторы. В зависимости от глубины их погружения пневматическая аэрация подразделяется на низконапорную (заглубление до 1,5 м) и высоконапорную (свыше 2,0 м).

Виды аэрационных систем аэраторов можно классифицировать по их конфигурации (пространственные и линейные), по расположению в аэротенке (пристенные и рассредоточенные по днищу), по количеству рядов (однорядные, двухрядные, многорядные) и в зависимости от типа пористой перегородки (трубы, плоские мембраны).

Новые аэрационные системы имеют технический паспорт, в котором указываются параметры работы и ограничения. В паспорте обычно приводятся окислительная способность (*SOTR*) или процент использования кислорода *SOTE* (*standard oxygen transfer efficiency*) при диспергировании его на глубине  $h_a$  в табличном либо графическом виде. Процент использования кислорода вычисляется как отношение количества растворившегося кислорода к его начальному содержанию в воздухе.

Количество растворившегося воздуха равно

$$OC \cdot W_{at}, \quad (8.18)$$

а количество поданного

$$Q_{air} \cdot S_0, \quad (8.19)$$

где *OC* – окислительная способность в расчете на 1 м<sup>3</sup> воздуха, гО<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>·ч;

$W_{at}$  – объем аэротенка, м<sup>3</sup>;

$Q_{air}$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$S_0$  – удельное содержание кислорода воздуха, примерно 250–260 г/м<sup>3</sup>.

Следовательно,

$$SOTE = \frac{SOTR \cdot W_{at}}{Q_{air} \cdot S_0}, \quad (8.20)$$

Иногда процент использования указывают на 1 м слоя воды в аэротенке. В этом случае

$$SOTE = SOTE_h \cdot h^x, \quad (8.21)$$

где  $SOTE_h$  – процент использования кислорода на 1 м слоя воды;

$x = 0,7$  или  $1,0$  в зависимости от паспортных данных.

Пересчет *SOTE* на другие значения глубины проводится по формуле

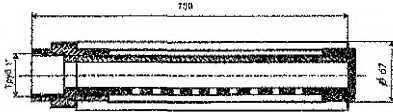
$$SOTE_{h_2} = SOTE_{h_1} \cdot \left( \frac{h_{a2}}{h_{a1}} \right)^x, \quad (8.22)$$

$h_a$  – глубина погружения аэраторов, м.

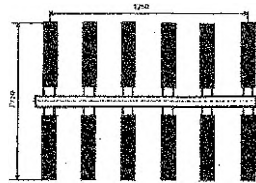
**Трубчатые аэраторы** изготавливают методом напыления расплавленных пластмасс (полиэтилена, полипропилена и других материалов) и в зависимости от условий напыления получают различные пористые изделия. В некоторых аэраторах имеется конструктивно жесткий каркас, на который напылен пористый материал, а в других каркас отсутствует и жесткость конструкции достигается за счет утолщения стенок пористой трубы.

Аэраторы из пористых трубок малого диаметра выполняют в виде решеток. Система аэрационных элементов крепится на стойках на высоте 0,3–0,5 м над днищем аэротенка. Трубки могут располагаться по обе стороны воздуха соосно либо в шахматном порядке.

К трубчатым аэраторам относятся аэраторы с перфорированными эластичными мембранами, все конструктивные несущие элементы которых выполнены из полимеров (рис. 8.4). Монтаж аэраторов ведется секционным методом. Базовый вариант секции представляет собой металлическую трубу с двумя рядами аэрационных элементов (рис. 8.5). Технические характеристики аэраторов представлены в табл. 8.2 и на рис. 8.6.



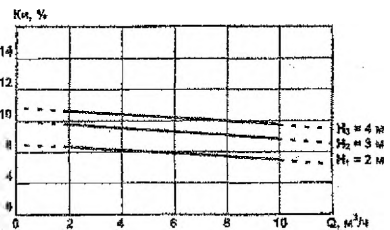
**Рисунок 8.4 – Трубчатый аэратор с перфорированной эластичной мембраной**



**Рисунок 8.5 – Базовый вариант секции аэраторов**

**Таблица 8.2 – Технические характеристики аэратора.**

$Q_{вн}$ , м <sup>3</sup> /ч	$В_{сг}$ , кг/ч	ОС (4 м), гО <sub>2</sub> /м <sup>3</sup> ·ч	$В_{н}$ , кг/ч	$K_{ис}$ , %	$\mathcal{E}$ , кгО <sub>2</sub> /кВт·ч
2,0	1,41	75,9	0,09	8,52	2,41
4,0	1,95	66,8	0,16	8,21	2,22
6,0	2,35	58,3	0,20	8,09	2,10
8,0	2,82	51,8	0,23	7,80	2,05
10,0	3,08	47,85	0,27	7,43	1,97

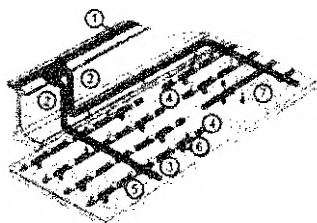


**Рисунок 8.6 – Зависимость коэффициента использования кислорода (SOTE) от расхода воздуха**

**Обозначения:**  $В_{н}$ ,  $В_{сг}$  – производительность по кислороду нетто и брутто, кг/ч;  
 $Q_{в}$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  
 $K_{ис}$  – коэффициент использования кислорода воздуха (SOTE), %;  
 $\mathcal{E}$  – эффективность аэрации, кгО<sub>2</sub>/кВт·ч;  
 ОС – окислительная способность (SOTR), гО<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>·ч

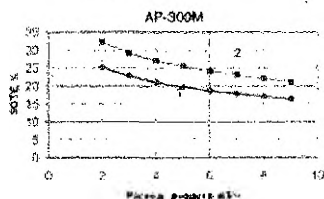
В мембранных дисковых аэраторах различают мембраны жесткие и мягкие: жесткие выполняют из твердых пористых листовых материалов, а мягкие – из перфорированной резины и других рулонных мягких материалов. Мембрана (диск) зажимается между чашей и уплотнительным кольцом с резьбой. Аэрационные блоки состоят из системы распределительных труб с установленными на них отдельными диспергаторами.

Аэрационная система Аква-Пласт на базе дисковых аэраторов с резиновой перфорированной мембраной AP-300 М фирмы «Экополимер» представлена на рис. 8.7. Основные параметры данных аэраторов представлены на рис. 8.8. и в табл. 8.3.



- 1 – магистральный трубопровод;
- 2 – опуск из трубы ГНД;
- 3 – коллектор из трубы ГНД;
- 4 – аэрационный модуль;
- 5 – аэратор AP-300М;
- 6 – опора;
- 7 – дно аэротенка

Рисунок 8.7 – Аэрационная система



- 1 – при глубине погружения 3,8 м;
  - 2 – при глубине погружения 4,8 м.
- Рисунок 8.8 – Зависимость стандартной эффективности переноса кислорода (SOTE) от расхода воздуха

Таблица 8.3 – Основные параметры аэратора AP-300-М серии АКВА-ПЛАСТ

Наименование параметра	Величина
Диаметр аэратора, мм	300
Диаметр воздуховода, мм	90-110
Стандартная эффективность переноса кислорода (SOTE) при глубине погружения 4 м, %	22-27
Минимальное расстояние от дна аэротенка, мм	150
Рабочий расход воздуха на аэратор, м <sup>3</sup> /ч·м	3-7
Потери напора, кПа	1,5-3,0
Диаметр аэратора, мм	300
Диаметр воздуховода, мм	90-110
Длина аэрационных модулей, м	до 60
Количество рядов в аэрационной группе	1-20
Расстояние между рядами, мм	400-2500
Расстояние между аэраторами, мм	397-1500

Располагая аэраторы между собой, стремятся создать на поверхности аэротенка сплошной аэрируемый слой, но без подавления одного аэратора другим. Расстояние между соседними аэрационными элементами назначается из условия их взаимодействия, которое заключается в смыкании факелов водовоздушной смеси на высоте от днища  $(0,5-0,7) h_a$ . Водовоздушный факел расширяется кверху под углом примерно  $10^\circ$ . Исходя из этих условий, расстояние между элементами определяется по формуле:

$$\Delta l = d_a + 2 \cdot (0,5 - 0,7) \cdot h_a \cdot \text{tg} 5^\circ, \text{ м}, \quad (8.23)$$

где  $d_a$  – диаметр аэратора, м;  
 $h_a$  – глубина погружения аэраторов, м.

### 8.2.2 Последовательность расчета пневматической системы аэрации аэротенков

1. Потребность в кислороде при очистке сточной воды следует определять как сумму расхода кислорода на деструкцию органических веществ и нитрификацию с учетом снижения потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации

$$OV = OV_C + OV_N - OV_D, \text{ кг / сут.} \quad (8.24)$$

где  $OV_C$  – расход кислорода на деструкцию органических веществ, кг/сут;

$OV_N$  – расход кислорода на нитрификацию, кг/сут;

$OV_D$  – снижение потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации, кг/сут.

1.1. Расход кислорода на деструкцию органических веществ следует рассчитывать по формуле

$$OV_C = q_1 \cdot B_{сут}, \text{ кг / сут.} \quad (8.25)$$

где  $q_1$  – удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ, кг/кг БПК<sub>5</sub>, при отношении ХПК/БПК<sub>5</sub> сточной воды, поступающей на биологическую очистку, не более 2,2 и с учетом температуры сточной воды и возраста ила определяется по таблице 8.4;

$B_{сут}$  – суточное поступление биохимически разлагаемых веществ на очистные сооружения, кг/сут, рассчитывается по формуле

$$B_{сут} = \frac{Q_{расч} \cdot L_{en}}{1000}, \text{ кг / сут.} \quad (8.26)$$

где  $Q_{расч}$  – среднесуточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$L_{en}$  – БПК<sub>5</sub> сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 8.4 — Удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ, кг на кг БПК<sub>5</sub>

Температура $T, ^\circ\text{C}$	Возраст ила, сут					
	4	8	10	15	20	25
10	0,85	0,99	1,04	1,13	1,18	1,22
12	0,87	1,02	1,07	1,15	1,21	1,24
15	0,92	1,07	1,12	1,19	1,24	1,27
18	0,96	1,11	1,16	1,23	1,27	1,30
20	0,99	1,14	1,18	1,25	1,29	1,32

1.2 Расход кислорода на нитрификацию составит

$$OV_N = Q_{расч} \cdot \frac{4,3 \cdot (C_{NO_3D} - C_{NO_3en} + C_{NO_3ex})}{1000}, \text{ кг / сут.} \quad (8.27)$$

где  $C_{NO_3D}$  – концентрация нитратного азота, подлежащего денитрификации, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{NO_3en}$  – концентрация нитратного азота в сточных водах, поступающих на сооружения биологической очистки, мг/д<sup>3</sup>, для практических расчетов принимается  $C_{NO_3en} = 0$  мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{NO_3ex}$  – концентрация нитратного азота в очищенных сточных водах, отводимых от сооружений биологической очистки (от вторичных отстойников), мг/дм<sup>3</sup>.

1.3 Снижение потребности в кислороде, за счет окисления органических веществ в анаэробных условиях при денитрификации определяется по формуле

$$OV_o = Q_{\text{раств}} \cdot \frac{2,9 \cdot C_{\text{NO}_3\text{,D}}}{1000}, \text{ кг / сут.} \quad (8.28)$$

2. Максимальная часовая потребность в кислороде определяется с учетом неравномерности его потребления в течение суток

$$OV_h = \frac{k_c \cdot (OV_c - OV_o) + k_N \cdot OV_N}{24}, \text{ кг / ч,} \quad (8.29)$$

где  $k_c$  – коэффициент часовой неравномерности потребления кислорода при обработке сточной воды с целью деструкции органических веществ;

$k_N$  – коэффициент часовой неравномерности потребления кислорода при нитрификации.

Коэффициенты часовой неравномерности потребления кислорода  $k_c$  и  $k_N$  следует определять на основании данных технологических изысканий, при их отсутствии допускается принимать значения коэффициентов по таблице 8.5.

Таблица 8.5 – Значения коэффициентов часовой неравномерности потребления кислорода

Возраст ила, сут	$k_c$	$k_N$ при $B_{\text{сут}}$ , кг БПК <sub>5</sub> в сут		
		до 1200 включ.	св. 1200 до 6000 включ.	св. 6000
4	1,30	—	—	—
8	1,25	—	—	—
10	1,20	—	2,5	2,0
15	1,20	2,5	2,5–1,8	1,8
20	1,15	2,0	2,0–1,5	1,5
25	1,10	1,5	1,5	—

3. Принимается тип пневматических аэраторов и их технические характеристики.

4. Часовой расход воздуха в технологические емкости с активным илом составит

$$Q_{\text{ар}} = \frac{OV_h}{SOTE \cdot S_0 \cdot \frac{C_a - C_0}{C_a} \cdot K_T \cdot K_s}, \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (8.30)$$

где  $SOTE$  – процент использования кислорода, доли единиц, определяется по формуле 8.21;

$S_0$  – содержание кислорода в воздухе, кг/м<sup>3</sup>, составляет 0,25–0,26 кг/м<sup>3</sup>;

$C_0$  – концентрация кислорода в иловой смеси в технологической емкости, следует принимать равной 2 мг/дм<sup>3</sup>;

$C_a$  – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/дм<sup>3</sup>

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T, \text{ мг / дм}^3, \quad (8.31)$$

где  $C_T$  – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принимаемая по справочным данным, см. табл. 8.6;

$h_a$  – глубина погружения аэраторов, м, принимается на (0,2–0,3) м меньше глубины аэротенка;

$K_T$  – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_w - 20), \quad (8.32)$$

где  $T_w$  – среднемесячная температура воды за летний период, °С;

$K_a$  – коэффициент, учитывающий переход от лабораторных к производственным условиям, принимается 0,58–0,66 [16].

Таблица 8.6 – Растворимость кислорода в чистой воде при давлении 0,1 МПа

Температура, °С	5	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$C_T$ , мг/дм <sup>3</sup>	12,79	11,27	10,75	10,26	9,82	9,4	9,02	8,67	8,33	8,02	7,72

5. Количество аэраторов определяется по формуле

$$N = \frac{Q_{air}}{q_a}, \text{ шт.}, \quad (8.33)$$

где  $q_a$  – пропускная способность одного аэратора, м<sup>3</sup>/ч, принимается по паспортным данным.

Определяется количество аэраторов в одной секции сооружения.

6. Принимается схема раскладки аэраторов – пространственная или линейная, пристенная или рассредоточенная по днищу.

7. По формуле (8.23) определяется расстояние между элементами. Распределяется найденное количество аэраторов (N) по принятой схеме раскладки.

**Задача № 8.3** Рассчитать аэрационную систему при следующих исходных данных. Расходы сточных вод: суточный 97800 м<sup>3</sup>/сут, среднечасовая 4075 м<sup>3</sup>/ч, максимальный 4954 м<sup>3</sup>/ч. Температура воды: среднегодовая 12°С, летняя 19°С. Концентрация загрязнений по БПК<sub>5</sub> поступающей воды  $L_{en} = 128,4$  мг/дм<sup>3</sup>. В ходе расчетов было определено, что доза ила 3,5 г/л, возраст ила 8,3 сут., количество денитрифицированного азота  $C_{NO,D} = 12$  мг/дм<sup>3</sup>, а концентрация нитратного азота в очищенных сточных водах, отводимых от сооружений биологической очистки  $C_{NO,ex} = 10$  мг/дм<sup>3</sup>. В проекте принято по конструктивным соображениям шесть секции трехкоридорного биоблока размером 87 × 18 × 5 м (L×B×H), объем одной секции 7830 м<sup>3</sup>. В каждой секции, согласно схеме, объем предденитрификатора 900 м<sup>3</sup>, размером 30 × 6 × 5 м; объем десфосфотатора 810 м<sup>3</sup>, размером 27 × 6 × 5 м; объем денитрификатора 2430 м<sup>3</sup>, размером 81 × 6 × 5 м; объем нитрификатора (аэробной зоны) 3690 м<sup>3</sup>, размером 123 × 6 × 5 м.

### 8.2.2 Оборудование для перемешивание иловой смеси в анаэробных и аноксидных зонах

В анаэробных и аноксидных зонах блока биологической очистки должно быть исключено появление растворенного кислорода и обеспечено перемешивание иловой смеси во избежание осаждения активного ила на дно сооружений.

Типология выпускаемых погружных гидравлических мешалок отличается большим разнообразием. В практике очистки сточных вод применяются тихоходные и скоростные мешалки горизонтального и вертикального типа.

Тихоходные мешалки диаметром от 0,7 до 2,5 м используются в сооружениях большого объема либо в удлиненных конструкциях, когда глубина либо ширина коридора в 3–5 раз меньше его длины. Скоростные погружные мешалки нашли применение в сооружениях средней производительности. Скоростные мешалки размещают на высоте 0,7–1,0 м от дна до нижнего края лопастей; тихоходные мешалки – в зависимости от их диаметра.

Требуемая мощность мешалок определяется по формуле

$$W_{тр} = \frac{V \cdot W_{уд}}{1000}, \text{ кВт}, \quad (8.34)$$

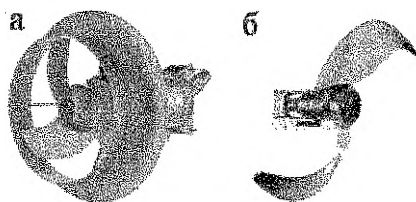
где  $V$  – объем сооружения,  $\text{м}^3$ ;

$W_{уд}$  – удельная мощность,  $\text{Вт}/\text{м}^3$ , определяется по формуле

$$W_{уд} = \alpha (a_1)^{0,24}, \text{ Вт}/\text{м}^3, \quad (8.35)$$

где  $\alpha$  – обобщенный коэффициент, учитывающий вязкость воды, равный 0,95–1,05;

$a_1$  – доза ила,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ .



а – серии SR 4600

б – серии SR 4400

Рисунок 8.9 – Мешалки FLYGT

В таблице 8.7. представлены технические характеристики мешалок FLYGT: высокоскоростных компактных серии SR 4600 (рис.8.9 а) и низкооборотных (тихоходных) серии SR 4400 (рис.8.9 б).

Таблица 8.7 – Технические характеристики мешалок FLYGT

Тип мешалки	Скорость вращения, об/мин	Диаметр лопастей, мм	Номинальная мощность, кВт	Масса, кг
SR 4610	1380	210	0,9	18
SR 4620	1385	210	1,5	19,3
SR 4630	710	368	1,5	61
SR 4640	705	368	2,5	64
SR 4650	480	580	5,5	177
SR 4660	475	580	10,0	218
SR 4670	365	766	13,0	363
SR 4680	365	766	25,0	482
SR 4410	17–45	1400–2500	0,9–2,3	220
SR 4430	25–54	1400–2500	4,0–4,4	249

**Задача № 8.4** Для условий задачи № 8.3 рассчитать и подобрать перемешивающее оборудование (мешалки) для предденитрификатора, дефосфотатора, денитрификатора.

## 9 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И СУШКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Метод механического обезвоживания осадка позволяет полностью механизировать и автоматизировать процесс обезвоживания осадка, высвободить значительные площади земли, требующиеся для иловых площадок, исключить зависимость сушки осадка от климатических условий, улучшить санитарное состояние территорий, расположенных рядом с очистными станциями.

На очистных станциях применяют следующие способы механического обезвоживания: центрифугирование, фильтр-прессование и вакуум-фильтрование. Обзор механического обезвоживающего оборудования представлен в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Обзор механического обезвоживающего оборудования

Параметр	Центрифуга	Быстроходная центрифуга (центрипресс)	Камерный фильтр-пресс	Ленточный фильтр-пресс	Мембранный фильтр-пресс	Вакуум-фильтр
Тип и количество применяемых реагентов:						
Ca(OH) <sub>2</sub>	-	-	15 кг/м <sup>3</sup>	-	3–4 кг/м <sup>3</sup>	см. табл.9.7
FeCl <sub>3</sub>	-	-	5,0–7,5 кг/м <sup>3</sup>	-	1,0–1,5 кг/м <sup>3</sup>	
Полимер	см. табл.9.2		-	2,5–5,0 кг на 1 т сух. в-ва. ос.	3,5–5,0	-
Достижимое содержание сухих веществ <sup>1</sup> , %	20–32	28–40	28–40	20–32	35–45	20–25
Расход электроэнергии	высокий	высокий	средний	низкий	средний	высокий
Размер очистных сооружений	крупные, средние, малые	крупные, средние, малые	крупные	крупные, средние, малые	крупные	крупные, средние, малые

<sup>1</sup> Зависит от вида осадка

### 9.1 Обезвоживание осадков центрифугированием

#### 9.1.1 Общие сведения

Обезвоживанию методом центрифугирования могут подвергаться осадки из первичных отстойников, активный ил из вторичных отстойников и их смеси, сброженные осадки из метантенков и аэробно стабилизированные осадки.

Центрифугирование основано на разделении жидкой и твердой фаз во влажном осадке в результате действия центробежных сил. Центрифугирование является высокоэффективным методом обезвоживания осадков, его достоинства – простота и экономичность процесса, низкая влажность обезвоженного осадка (кека).

Центрифугирование осадков производится с применением синтетических органических полиэлектролитов – флокулянтов катионного типа или без них.



При использовании флокулянтов осадок после обезвоживания имеет меньшую влажность, а центрифуга – большую пропускную способность; фугат, образующийся при центрифугировании, имеет меньшую загрязненность.

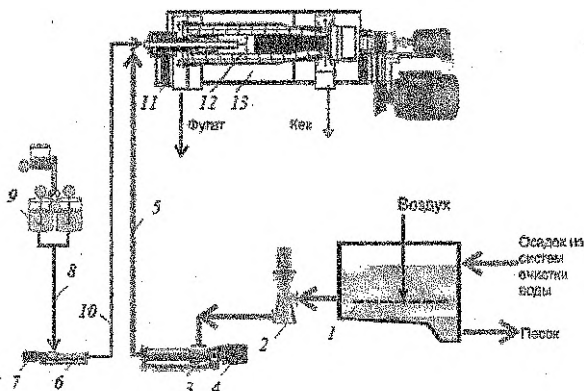
Центрифугирование без применения коагуляции осадков химическими реагентами позволяет получать кека влажностью 75–80 %, но вынос взвеси с фугатом при этом достигает 40–60 % сухого вещества осадка (по массе). При центрифугировании с применением флокулянтов эффективность задержания сухого вещества составляет 90–97 %, а производительность центрифуги снижается на 30–40 %.

Обезвоживание осадков сточных вод осуществляется с использованием непрерывно действующих осадительных горизонтальных центрифуг со шнековой выгрузкой кека (типа ОПШ), выпускаемые ПАО «Сумское НПО» (Украина), «Alfa Laval» (Швеция), «Andritz» (Австрия), «Flottweg» (Германия), «Westfalia Separator» (Германия) и т. д.

Показатели работы центрифуг с разными типами осадков приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Технологические показатели работы центрифуг [12]

Тип осадков	Доза флокулянта, кг/т сухого вещества осадка	Концентрация кека по сухому веществу, %
Активный ил в технологии денифо	8–10	20–22
То же с коагуляцией на вторичных отстойниках	8–9	21–23
Осадок первичных отстойников	5–7	28–32
Смесь осадка и избыточного ила	6–8	25–27



1 – резервуар осадка; 2 – мацератор; 3 – винтовые насосы-дозаторы шлама; 4 – приводы насосов-дозаторов; 5 – подающий трубопровод осадка; 6 – винтовые насосы-дозаторы флокулянта; 7 – приводы насосов-дозаторов; 8 – всасывающие трубопроводы; 9 – растеорные емкости флокулянта; 10 – напорный трубопровод флокулянта; 11 – центрифуга; 12 – шнек; 13 – барабан (ротор)

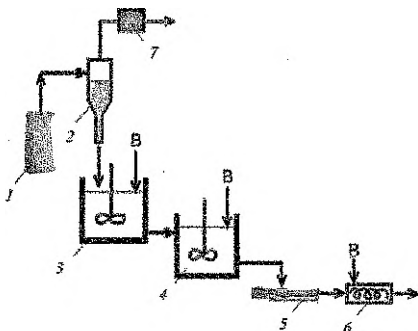
Рисунок 9.1 – Технологическая схема обезвоживания осадков на центрифугах [12]

Схема обезвоживания осадков на центрифугах с предварительным кондиционированием показана на рис. 9.1. В схеме обязательно устройство резервуара-аккумулятора осадков, перемешивание в котором может осуществляться мешалками, насосами или путем аэрации. Аэрация является более предпочтительным методом, так как при этом смесь осадков хорошо гомогенизируется, предотвращается загнивание осадков и при соответствующих условиях происходит отделение связанного песка. В центрифуги флокулянт вводят во входную трубу либо прямо в ротор во избежание разрушения флоккул осадка.

### 9.1.2 Приготовление и дозирование флокулянтов

Для кондиционирования осадков сточных вод перед механическим обезвоживанием на центрифугах и фильтр-прессах (ленточных и мембранных) в настоящее время применяются высокомолекулярные флокулянты катионного типа.

Схема приготовления рабочего раствора флокулянта концентрацией 0,15–0,2 % (1,5–2 г/л) из порошкообразного реагента показана на рис. 9.2.



1 – мешок с порошком флокулянта; 2 – дозатор порошка; 3 – затворный бак (концентрация раствора 1–1,5 %); 4 – растворный бак (концентрация раствора 0,3–0,5 %); 5 – винтовой насос-дозатор; 6 – вихревой смеситель (концентрация раствора 0,15–0,2 %); 7 – пылесос; В – чистая вода  
Рисунок 9.2 – Схема приготовления раствора флокулянта [12]

### 9.1.3 Расчет и подбор оборудования для центрифугирования

Подбор оборудования для центрифугирования осадка заключается в определении типа и числа оборудования (рабочего и резервного), а также в определении количества образующегося кека и фильтрата, при необходимости рассчитывается реагентное хозяйство флокулянта.

1. Емкость резервуара-накопителя осадка рассчитывается на 2–3 часовой объем осадка. Интенсивность аэрации принимается  $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , воздух подается от воздуходувки, расположенной в цехе механического обезвоживания осадка.

Объем резервуара-накопителя определится по формуле:

$$W_{\text{рес}} = Q_{\text{ос}} \cdot T, \text{ м}^3, \quad (9.1)$$

где  $Q_{\text{ос}}$  – соответственно расход осадка,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$T$  – продолжительность накопления осадка, ч, принимается 2–3 часа.

По найденному объему принимается типовой резервуар и устанавливаются его размеры – длина, ширина, глубина.

Расход воздуха для аэрации осадка определится по формуле:

$$Q_v = F_{\text{рез}} \cdot \omega, \text{ м}^3 / \text{час.}, \quad (9.2)$$

где  $F_{\text{рез}}$  – площадь резервуара,  $\text{м}^2$ ;  
 $\omega$  – интенсивность аэрации,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , принимается  $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

По найденному расходу воздуха подбирается марка и количество воздушного оборудования.

2. Расход флокулянта для коагулирования осадков, т/сут, составляет

$$P_{\text{фл}} = \frac{Q_{\text{ос}} \cdot (100 - P_{\text{ос}}) \cdot D \cdot \rho}{100}, \text{ кг / сут}, \quad (9.3)$$

где  $P_{\text{ос}}$  – влажность осадка, %;

$D$  – доза флокулянта, кг/т сухого вещества осадка, при центрифугировании принимается по табл. 9.2;

$\rho$  – плотность осадка,  $\text{т/м}^3$ , для практических расчетов принимается  $1 \text{ т/м}^3$ .

Технологические схемы приготовления раствора флокулянта приведены на рис. 2.1 и 9.2. Расчет реагентного хозяйства флокулянта выполняется по п. 2.3.3 или 2.1.4.

3. Количество осадка по сухому веществу составляет:

$$P_{\text{сух}} = Q_{\text{ос}} \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{ос}}}{100}\right), \text{ м}^3 / \text{сут.} \quad (9.4)$$

4. По расходу осадка  $Q_{\text{ос}}$ ,  $\text{м}^3/\text{сут}$ , по табл. 9.3. принимается тип центрифуги, ее производительность ( $q$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ) по осадку.

Количество рабочих центрифуг составит

$$N = \frac{Q_{\text{ос}}}{t \cdot q}, \text{ шт.}, \quad (9.5)$$

где  $t$  – продолжительность работы центрифуги, принимается 16–20 часов в сутки.

Принимается количество резервного оборудования: при количестве рабочих единиц до трех — одну единицу, от четырех и более — две единицы.

Таблица 9.3 – Технические характеристики центрифуг типа ОГШ для обезвоживания осадка сточных вод

Параметр	Марка центрифуги		
	ОГШ-321К-01	ОГШ-501К-10	ОГШ-630К-06
1	2	3	4
Производительность по исходному осадку, $\text{м}^3/\text{ч}$			
– для сырого и сброженного осадка	4	7-10	30
– для активного ила	5-6	12-14	
Наибольший рабочий диаметр ротора, мм	320	500	630
Отношение длины ротора к диаметру	1,86	3,6	3,76
Частота вращения, об/мин	4250	2690	2665
Фактор разделения на большем диаметре ротора	3231	2020	2016
Мощность главного электродвигателя, кВт	11	55	75

Продолжение таблицы 9.3

1	2	3	4
Габаритные размеры, мм			
– длина	1640	3870	4685
– ширина	1110	2610	2400
– высота	660	1110	1300
Масса, кг			
– без вспомогательного оборудования	560	3000	6600
– в комплекте	750	4600	7500

## 5. Расход обезвоженного осадка (кека):

– по массе сухого вещества:

$$P_1 = \frac{P_{\text{сух}} \cdot \Xi}{100}, \text{ т / сут.}, \quad (9.6)$$

где  $\Xi$  – эффективность задержания сухого вещества, %, принимается по табл. 9.4., при обработке осадка флокулянтном составляет 90–97 %.

– по объему:

$$Q_1 = \frac{P_1}{\rho \cdot \left(1 - \frac{P_k}{100}\right)}, \text{ м}^3 / \text{сут.}, \quad (9.7)$$

где  $P_k$  – влажность кека, принимается по табл. 9.2 или 9.4;

$\rho$  – плотность кека, для расчетов принимается равной 0,85 г/м<sup>3</sup>.

## 6. Расход фугата:

– по массе сухого вещества:  $P_2 = P_{\text{сух}} - P_1, \text{ т / сут.}, \quad (9.8)$ – по объему:  $Q_2 = Q_{\text{ос.}} - Q_1, \text{ м}^3 / \text{сут.} \quad (9.9)$ 

Технические характеристики центрифуг типа ОГШ представлены в табл. 9.3

Таблица 9.4 – Эффективность задержания сухого вещества и влажность кека

Характеристика обрабатываемого осадка	Эффективность задержания сухого вещества, %	Влажность кека, %
Сырой или сброженный осадок из первичных отстойников	45–65	65–75
Анаэробно сброженная смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	25–40	65–75
Аэробно стабилизированная смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	25–35	70–80
Сырой активный ил при зольности, %:		
28–35	10–15	75–85
38–42	15–25	70–80
44–47	25–35	60–75

Примечание: Центрифугирование активного ила целесообразно применять для удаления его избыточного количества

**Задача №9.1.** Рассчитать и подобрать оборудование для центрифугирования смеси осадка первичных отстойников и активного ила расходом  $Q_{\text{ос.}} = 150 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , влажностью  $P_{\text{ос.}} = 97,5 \%$ .

## 9.2 Обезвоживание осадков фильтр-прессованием

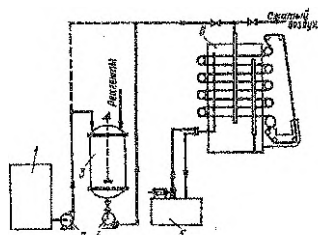
Для глубокого обезвоживания осадков сточных вод применяют фильтр-прессы. Механическое обезвоживание на фильтр-прессах позволяет получить осадок с самой низкой влажностью 42–56 %. Фильтр-прессы рекомендуются применять в схемах, где конечной стадией обработки являются сушка, сжигание или утилизация, при которых требуется получение осадков с максимально низкой влажностью.

Показатели работы фильтр-прессов значительно улучшаются при реагентной обработке осадков и добавлении присадочного материала, в качестве которого может использоваться зола от сжигания осадков.

Различают рамные, камерные, мембранно-камерные, ленточные, барабанные и винтовые (шнековые) фильтр-прессы.

9.2.1 Камерные фильтр-прессы являются фильтровальными аппаратами периодического действия для разделения жидких неоднородных систем под давлением. Состоят из набора либо горизонтально, либо вертикально расположенных фильтровальных плит.

Среди камерных фильтр-прессов широкое распространение получили горизонтальные фильтр-прессы ФПАКМ. Техническая характеристика фильтр-пресса ФПАКМ приведена в таблице 9.5, схема установки – на рис. 9.3.



- 1 – резервуар для осадка;
- 2 – насос для подачи осадка;
- 3 – резервуар для смешения осадка с реагентами;
- 4 – насос для подачи осадка на фильтр;
- 5 – водонасосная станция;
- 6 – фильтр-пресс

Рисунок 9.3 – Схема установки фильтр-пресса типа ФПАКМ

Таблица 9.5 – Техническая характеристика фильтр-пресса ФПАКМ

Показатели	Марка фильтр-пресса				
	ФПАКМ-2,5У	ФПАКМ-5У	ФПАКМ-10У	ФПАКМ-25У	ФПАКМ-50У
Площадь поверхности фильтрования, м <sup>2</sup>	2,5	5	10	25	50
Зазор между плитами, мм	45	45	45	45	45
Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>	12	12	12	12	12
Число фильтрующих плит	6	6	12	16	20
Ширина фильтрующей ткани, мм	700–750	845–920	845–920	1100–1200	1450
Габаритные размеры, мм	2660×1760××2750	3375×2000××2780	3375×2000××3525	3780×2150××4240	5000×2930××5550
Масса, кг:					
– фильтр-пресса без оборудования	4770	6900	8670	14280	23305
– фильтр-пресса с комплектующим оборудованием	6300	8400	10200	16600	25930

В настоящее время широкое распространение получили фильтр-прессы зарубежных производителей: Andritz AG (Австрия), Netzsch (Германия), MSE Filterpressen (Германия), Diefenbach (Италия), Envites (Чехия) и другие.

При подготовке осадка к обезвоживанию на камерных фильтр-прессах вводят химические реагенты – хлорное железо и известь в виде 10%-ных растворов. Дозы реагентов при фильтр-прессовании надлежит принимать по таблице 9.6.

При фильтр-прессовании подачу осадка производят под давлением не менее 0,6 МПа; расход сжатого воздуха на просушку осадка – 0,2 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> фильтровальной поверхности; давление сжатого воздуха – 0,6 МПа; расход промывной воды – 4 л/мин на 1 м<sup>2</sup> поверхности; давление промывной воды – 0,3 МПа.

Пропускная способность фильтр-прессов и влажность кека при обезвоживании осадков городских сточных вод зависят от обрабатываемого осадка. В табл. 9.5 приведены основные технические характеристики, показатели работы фильтр-прессов в табл. 9.7.

Таблица 9.6 – Дозы реагентов при фильтр-прессовании и вакуум-фильтровании осадков городских сточных вод

Вид осадка	Доза реагента, % к массе сухого вещества осадка	
	FeCl <sub>3</sub>	CaO
Сброженный осадок первичных отстойников	3-4	8-10
Сброженная промытая смеси осадка первичных отстойников и избыточного активного ила	4-6	12-20
Сырой осадок первичных отстойников	1,5-3	6-10
Смесь осадка первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила	3-5	9-13
Уплотненный избыточный ила из аэротенков	6-9	17-25

Примечания:

1. Большие значения доз реагентов надлежит принимать для осадка, сброженного при термофильном режиме.
2. При обезвоживании аэробно стабилизированного осадка доза реагентов на 30 % менее дозы для мезофильно сброженной смеси.
3. Доза Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> во всех случаях увеличивается по сравнению с дозами хлорного железа на 30 – 40 %.
4. При обезвоживании осадка на камерных фильтр-прессах доза извести принимается во всех случаях на 30 % более.

Таблица 9.7 – Производительность вакуум-фильтров и камерных фильтр-прессов

Характеристика обрабатываемого осадка	Производительность, кг сухого вещества осадка на 1 м <sup>2</sup> поверхности фильтра в 1ч		Влажность кека, %	
	вакуум-фильтров	фильтр-прессов	при вакуумфильтровании	при фильтр-прессовании
1	2	3	4	5
Сброженный осадок из первичных отстойников	25-35	12-17	75-77	60-65
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила, аэробно стабилизированный активный ил	20-25	10-16	78-80	62-68

Продолжение таблицы 9.7

1	2	3	4	5
Сброженная в термофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	17–22	7–13	78–80	62–70
Сырой осадок из первичных отстойников	30–40	12–16	72–75	55–60
Смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотнённого активного ила	20–30	5–12	75–80	62–75
Уплотнённый активный ил станций аэрации населенных пунктов	8–12	2–7	85–87	80–83

Примечание: Для вакуум-фильтрации сырых осадков надлежит предусматривать барабанные вакуум-фильтры со сходящим полотном.

### 9.2.2 Последовательность расчета камерных фильтр-прессов

1. Расчет реагентных хозяйств хлорного железа и извести.

По формулам (9.10) и (9.11) определяется расход хлорного железа и извести.

Расход реагента по чистому продукту составит:

$$P_{\text{ж}} = \frac{V_{\text{общ}} \cdot (100 - P) \cdot B \cdot \rho}{100 \cdot 100}, \text{ т / сут.}, \quad (9.10)$$

где  $V_{\text{общ}}$  – общий расход смеси сырого осадка и избыточного активного ила,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$P$  – влажность смеси, %;

$\rho$  – плотность смеси,  $\text{т}/\text{м}^3$ , для практических расчетов принимается  $1 \text{ т}/\text{м}^3$ ;

$B$  – доза коагулянта или извести, %.

Значения  $V_{\text{общ}}$ ,  $P$  и  $B$  принимаются из расчетов сооружений в зависимости от технологической схемы обработки осадка.

Расход реагента по товарному продукту при содержании чистого хлорного железа 60 % составит:

$$P_{\text{т}} = \frac{P_{\text{ж}}}{C}, \text{ т / сут.}, \quad (9.11)$$

где  $C$  – содержание безводной активной части в товарном продукте реагента, %, принимается для коагулянта по таблице 2.1, для извести по таблице 2.4.

Технологические схемы приготовления хлорного железа и извести представлены на рис. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4. Расчет реагентного хозяйства хлорного железа и извести по данным схемам приведен соответственно в п. 2.1.4 и 2.2.4 данных методических указаний.

2. Необходимая рабочая площадь фильтр-прессов составит:

$$F = \frac{Q_{\text{ос}} \cdot (100 - P_1) \cdot 1000}{100 \cdot q \cdot T}, \text{ м}^2, \quad (9.12)$$

где  $Q_{\text{ос}}$  – объем осадка подаваемого на обезвоживание,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$P_1$  – влажность подаваемого осадка, %;

$T$  – продолжительность работы фильтр-пресса в сутки, час, принимается 16–20 часов;

$q$  – пропускная способность фильтр-пресса, кг/(м<sup>2</sup> · час), принимается по табл. 9.7.

3. По найденной рабочей площади фильтр-прессов  $F$ , м<sup>2</sup>, по табл. 9.5. принимается марка фильтр-пресса и площадь поверхности фильтрования, ( $f$ , м<sup>2</sup>). Количество рабочих фильтр-прессов составит

$$N = \frac{F}{f}, \text{ шт.} \quad (9.13)$$

Принимается количество резервного оборудования: при количестве рабочих единиц до трех — одну единицу, от четырех и более — две единицы.

4. Расход образующегося кека составит:

$$Q_k = \frac{Q_{oc} \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2}, \text{ м}^3 / \text{сут.}, \quad (9.14)$$

где  $P_2$  – влажность кека, %, принимается по табл. 9.7.

5. Расход фильтрата:

$$Q_{\phi} = Q_{oc} - Q_k, \text{ м}^3 / \text{сут.} \quad (9.15)$$

6. Расчёт и подбор вспомогательного оборудования.

6.1. Расход сжатого воздуха:

$$q_a = 0,2 \cdot f, \text{ м}^3 / \text{мин}, \quad (9.16)$$

где 0,2 – расход сжатого воздуха на просушку осадка, м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> фильтровальной поверхности;

$f$  – площадь поверхности фильтрования фильтр-пресса, м<sup>2</sup>.

По найденному расходу сжатого воздуха и давлению сжатого воздуха – 0,6 МПа подбирается воздуходувное оборудование.

6.2. Расход промывной воды:

$$q_{np} = 4 \cdot f, \text{ л / мин}, \quad (9.17)$$

где 4 – расход промывной воды, л/мин на 1 м<sup>2</sup> фильтровальной поверхности.

По найденному расходу промывной воды и давлению промывной воды – 0,3 МПа подбирается насосное оборудование.

**Задача № 9.2** Рассчитать и подобрать камерный фильтр-пресс для обезвоживания смеси сырого осадка первичных отстойников и уплотненного активного ила расходом  $Q_{oc} = 320 \text{ м}^3/\text{сут}$ , влажностью  $P_{oc} = 98,5\%$ .

**9.2.3 Ленточные фильтр-прессы** предназначены для механического обезвоживания осадков сточных вод в непрерывном режиме путем их фильтрования под действием сил гравитации, вакуума и давления. Конструктивно ленточные фильтр-прессы различают по направлению движения фильтровальных лент с обезвоживаемым осадком. Принцип работы состоит в защемлении осадка между поверхностями двух лент фильтрующих тканей или фильтрующей ткани и непроницаемой ленты и последующем отжиме на гладких горизонтальных валах.



К основным конструктивным элементам ленточных фильтр-прессов относятся: приемный лоток осадка; фильтровальные ленты; приводной и направляющий барабаны; система роликов, обеспечивающая заданную траекторию движения фильтровальных лент; узлы отжима осадка; система регенерации фильтровальных лент; сборные поддоны фильтрата и промывной воды; ножи для снятия кека.

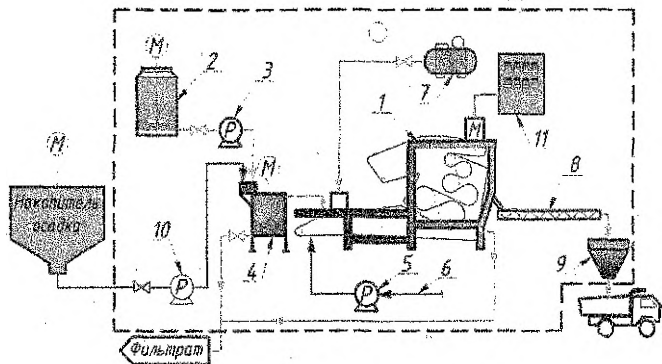
Важная роль в повышении эффективности работы фильтр-прессов принадлежит предварительной подготовке осадка, к которой относится предварительное сгущение осадка на ленточных либо в барабанных сгустителях, устанавливаемых непосредственно перед фильтр-прессами.

В настоящее время на рынке представлены ленточные фильтр-прессы и ленточные сгустители следующих производителей: Andritz AG (Австрия), «Bellmer» (Германия), «Flotweg» (Германия), «Klein» (Германия), «HUBER» (Германия), ТПП «Экополимер» (Россия), НПФ «Экотон» (Россия), «ДАКТ-Инжиниринг» (Россия) и другие.

Перед обезвоживанием на ленточных фильтр-прессах осадков городских сточных вод применяют флокулянты катионного типа. Концентрацию флокулянта в растворных баках принимают 1-2 %, концентрация рабочего раствора флокулянта принимают 0,1 %. Для растворения флокулянта применяют воду питьевого качества. В зависимости от марки применяемого флокулянта, вида и свойств обезвоживаемого осадка доза его колеблется от 2,5 до 5,0 кг на 1 т сухого вещества осадка (см. табл. 9.1).

Дозирование осадка и флокулянта следует предусматривать одновинтовыми насосами-дозаторами с плавной регулировкой подачи, смешение осадка с флокулянтом производится в смесителях механического или гидравлического типа. Время смешивания осадка с флокулянтом 30–60 с.

Типовая технологическая схема процесса механического обезвоживания осадка на ленточных фильтр-прессах представлена на рис. 9.4.



- 1 – фильтр-пресс; 2 – станция приготовления и хранения флокулянта;
- 3 – насос-дозатор флокулянта; 4 – смеситель осадка и флокулянта;
- 5 – промывной насос; 6 – подача промывной воды; 7 – компрессор;
- 8 – транспортер для удаления кека; 9 – накопительный бункер для кека;
- 10 – насос-дозатор осадка; 11 – шкаф управления

**Рисунок 9.4 – Типовая технологическая схема процесса механического обезвоживания осадка [13]**

В настоящее время НПФ «Экотон» совместно с НПО «ЛИТ» выпускают ленточные фильтр-прессы и сетчатые сгустители ленточного типа марки ПЛ [14]. Технические данные фильтр-прессов производства НПФ «Экотон» и НПО «ЛИТ» представлены в табл. 9.8.

Таблица 9.8 – Технические данные ленточных фильтр-прессов и сетчатых сгустителей ленточного типа (производства НПФ «Экотон» и НПО «ЛИТ») [14]

Тип оборудования	Производительность		Габариты, мм			Расход технической воды, м³/ч	Масса, кг	Мощность, кВт
	по сухому веществу, т/ч	м³/ч	длина	ширина	высота			
ПЛ-8	0,1–0,15	2,5–5	3100	1550	2150	8	2500	и
ПЛ-12	0,15–0,25	5–8	4050	2135	1940	10	5300	2,2
ПЛ-16	0,2–0,5	8–15	4050	2430	1940	12	5500	2,2
ПЛ-20	0,6–0,8	15–25	4050	2830	1940	15	6000	2,2
ПЛ-25	0,7–0,9	25–40	4050	3448	1940	20	7000	3
ПЛ-16 «КОМБИ»	0,5–0,7	15–30	4050	2470	3400	18	6600	3,7
ПЛ-25 «КОМБИ»	0,9–1,2	25–50	4050	3495	3400	25	8700	5

Ленточный коммунальный фильтр-пресс (ФПК), производимый ЗАО «ДАКТ-Инжиниринг», предназначен для обезвоживания осадков сточных вод на предприятиях коммунального хозяйства. Остаточная влажность обезвоженного сырого осадка — 70 %, смеси сырого осадка и активного ила — 75 %, избыточного; активного ила — 80 %.

Технические характеристики ленточного коммунального фильтр-пресса ФПК представлены в таблице 9.9.

Таблица 9.9 – Технические характеристики фильтр-пресса ФПК [15]

Габариты					Характеристики			
Ширина ленты, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Вес, кг	Мощность, кВт	Количество промывочной воды, м³/ч	Давление воды, бар	Давление воздуха, бар
1000	3510	1900	2400	3500	0,75	6	6–8	8–10
1500	3350	2400	2400	4000	1,1	8,4	6–8	8–10
2000	3350	2900	2400	4700	1,1	11,4	6–8	8–10
3000	4700	4000	2400	6000	3	16	6–8	8–10

Производительность — до 20 т/час по сухому веществу (в зависимости от свойств обезвоживаемого продукта) и производительность одной линии до 250 м³/час при влажности подаваемого шлама 98,5 %

#### 9.2.4 Последовательность расчета ленточных фильтр-прессов

1. Расход флокулянта для коагулирования осадков, т/сут, составляет

$$P_{\text{фл}} = \frac{Q_{\text{ос}} \cdot (100 - P_{\text{ос}}) \cdot D \cdot \rho}{100}, \text{ кг / сут}, \quad (9.18)$$

где  $Q_{\text{ос}}$  – расход осадка, м³/сут;

$P_{\text{ос}}$  – влажность осадка, %;

$D$  – доза флокулянта, кг/т сухого вещества осадка, при обработке на ленточных фильтр-прессах для предварительных расчетов принимается по табл. 9.1;

$\rho$  – плотность осадка, т/м³, для практических расчетов принимается 1 т/м³.

Технологические схемы приготовления раствора флокулянта приведены на рис. 2.1 и 9.2. Расчет реагентного хозяйства флокулянта выполняется по п. 2.3.3 или 2.1.4.

2. По расходу осадка  $Q_{ос.}$ , м<sup>3</sup>/сут, по табл. 9.8, 9.9. принимается тип фильтр-пресса, его производительность ( $q$ , м<sup>3</sup>/ч) по осадку.

Количество рабочих фильтр-прессов составит

$$N = \frac{Q_{ос.}}{t \cdot q}, \text{ шт.}, \quad (9.19)$$

где  $t$  – продолжительность работы ленточного фильтр-пресса, принимается 16-20 часов в сутки.

3. Расход образующегося кека составит:

$$Q_k = \frac{Q_{ос.} \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2}, \text{ м}^3 / \text{сут.}, \quad (9.20)$$

где  $P_2$  – влажность кека, %, принимается по табл. 9.1.

4. Расход фильтрата:

$$Q_{ф.} = Q_{ос.} - Q_k, \text{ м}^3 / \text{сут.} \quad (9.21)$$

5. Расчет и подбор вспомогательного оборудования.

5.1. Для обеспечения подачи технической воды на промывку ленты фильтр-пресса подбирается насос промывной воды. Подбор насоса осуществляется по расходу и давлению промывной воды по паспортным данным на оборудование.

5.2. Для снабжения устройства натяжения и системы регулировки движения лент фильтр-пресса сжатым воздухом подбирается воздуходувное оборудование. Подбор осуществляется по расходу и давлению воздуха по паспортным данным на оборудование.

5.3. Для обеспечения эффективного взаимодействия и смешения флокулянта и осадка рассчитывается и подбирается смеситель. Объем смесителя определится по формуле:

$$V_{см} = \frac{Q_{ос.} \cdot t}{24 \cdot 60}, \text{ м}^3, \quad (9.22)$$

где  $t$  – продолжительность смешения осадки и флокулянта, мин, принимается 1–2 мин.

По найденному объему принимаются, как правило, круглые в плане аппараты с механическим перемешивающим устройством.

**Задача № 9.3** Рассчитать и подобрать ленточный фильтр-пресс для обезвоживания смеси сырого осадка первичных отстойников и уплотненного активного ила расходом  $Q_{ос.} = 150$  м<sup>3</sup>/сут, влажностью  $P_{ос.} = 98,6$  %.

### 9.3 Обезвоживание осадков вакуум-фильтрованием

#### 9.3.1 Общие сведения

Механическое обезвоживание осадков сточных вод на вакуум-фильтрах применяется на станциях средней и большой производительности. Наибольшее распространение для обезвоживания сброженного осадка получили бара-

банные вакуум-фильтры типа БОУ, а для обезвоживания сырого осадка и активного ила – барабанные вакуум-фильтры со сходящим полотном типа Б<sub>сх</sub> ОУ.

Аэробно сброженные осадки сточных вод имеют высокое удельное сопротивление, что затрудняет процесс обезвоживания их на вакуум-фильтрах. Поэтому сброженный осадок перед вакуум-фильтрованием подвергается промывке с последующим уплотнением и обработке химическими реагентами.

Обезвоживание сырых осадков, имеющих более низкое удельное сопротивление, чем сброженные, на вакуум-фильтрах более эффективно. В связи с этим технологический процесс предварительной обработки сырых осадков значительно упрощается – отпадает необходимость в их промывке и уплотнении.

Недостатки метода вакуум-фильтрования:

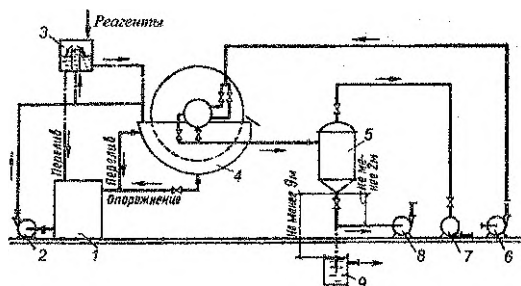
- необходимость использования больших объемов ручного труда при эксплуатации;
- потребность в большом объеме вспомогательного оборудования;
- значительные производственные площади;
- высокая энергоемкость;
- повышенные расходы минеральных реагентов.

В связи с имеющимися недостатками в настоящее время метод вакуум-фильтрования не находит широкого применения, предпочтение отдается центрифугированию и фильтр-прессованию.

Технологическая схема вакуум-фильтровальной установки представлена на рис. 9.5.

В качестве реагентов при коагулировании осадков городских сточных вод следует применять хлорное железо или серноокисное окисное железо и известь в виде 10 %-ных растворов.

Добавку извести в осадок следует предусматривать после введения хлорного или серноокисного окисного железа.



- 1 – резервуар для осадка; 2 – насос для подачи осадка;
- 3 – дозатор; 4 – вакуум-фильтр; 5 – рецивер;
- 6 – воздуходувка; 7 – вакуум-насос;
- 8 – насос для откачки фильтрата;
- 9 – резервуар гидравлического затвора

**Рисунок 9.5 – Типовая схема установки барабанного вакуум-фильтра**

Количество реагентов следует определять в расчете по  $FeCl_3$  и  $CaO$ , при этом их дозы при вакуум-фильтровании надлежит принимать по таблице 9.6.

Основные технические характеристики барабанных вакуум-фильтров марки БОУ и БОУ<sub>сх</sub> представлены в табл. 9.10.

Таблица 9.10 – Технические характеристики барабанных вакуум-фильтров

Марка	Поверхность филтрации, м <sup>2</sup>	Скорость вращения, об/мин	Размеры барабана, мм		Мощность привода, кВт		Вес, кг		
			диаметр	длина	барабана	мешалки	филтра с приводом	наиболее тяжелого узла (барабана)	жидкости в корыте
<b>Барабанные</b>									
БОУ-5-1,75	5	0,1–1,8	1750	960	1	1	4200	2350	130
БОУ-10-2,6	10	0,13–2	2600	1350	1,7	1,7	8000	24650	2700
БОУ-20-2,6	20	0,13–2	2600	2700	2,8	2,8	13100	8930	4200
БОУ-40-3	40	0,28–1,72	3000	4400	2,8	2,8	14200	10300	5500
<b>Барабанные со сходящим полотном</b>									
БсхОУ-1-1	1	0,1–2	1000	400	0,6	0,6	900	300	-
БсхОУ-3-1,75	3	0,1–2	1750	500	1	1	2200	610	-
БсхОУ-5-1,75	5	0,1–2	1750	1000	1	1	2400	640	-
БсхОУ-20-2,0	20	0,1–2	2600	2700	2,8	2,8	12000	7065	-
БсхОУ-40-3,4	40	0,08–1,45	3400	3800	8	5,5	25100	9285	-

### 9.3.2 Последовательность расчета вакуум-фильтровальной установки

Расчет вакуум-фильтровальной установки заключается в определении количества оборудования для механического обезвоживания, его марки, типа, а также в подборе вспомогательного оборудования (см. рис. 9.5).

1. Расчет реагентных хозяйств хлорного железа и извести производится по п. 9.2.2.

2. Рабочая площадь вакуум-фильтров определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_{ос} \cdot (100 - P_{ос}) \cdot 1000}{100 \cdot q \cdot T_1}, \text{ м}^2, \quad (9.23)$$

где  $Q_{ос}$  – объем осадка, подаваемого на обезвоживание, м<sup>3</sup>/сут.;

$P_{ос}$  – влажность осадка, подаваемого на обезвоживание, %;

$T_1$  – время работы вакуум-фильтров в сутки, принимается 16–20 часов;

$q$  – часовая пропускная способность вакуум-фильтра по сухому веществу осадка кг/м<sup>2</sup>·час (принимается по табл. 9.7).

3. По найденной рабочей площади вакуум-фильтров  $F$ , м<sup>2</sup>, по табл. 9.10. принимается марка вакуум-фильтра и площадь поверхности филтрации, ( $f$ , м<sup>2</sup>).

Количество рабочих вакуум-фильтров определится по формуле (9.13).

4. Расход кека, образующегося в течение суток, составит:

$$Q_k = \frac{Q_{ос} \cdot (100 - P_{ос})}{100 - P_2}, \text{ м}^3 / \text{сут.}, \quad (9.24)$$

где  $P_2$  – влажность обезвоженного осадка, %, принимается по табл. 9.7.

5. Расход образующегося фильтрата:

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{ос}} - Q_{\text{к}}, \text{ м}^3 / \text{сут.} \quad (9.25)$$

Фильтрат рекомендуется направлять в камеру промывки, так как содержащиеся в нем непрореагированные коагулянты способствуют снижению концентрации взвеси в сливной воде илоуплотнителей промытого осадка.

6. Подбор вспомогательного оборудования вакуум-фильтровальной установки.

**Вакуум-насосы.** Для комплектования вакуум-фильтровальных установок применяются вакуум-насосы различных типов. Наибольшее распространение получили водокольцевые вакуум-насосы типа ВВН, не требующие тщательной очистки отсасываемого воздуха от фильтрата. Подбор типа и числа вакуум-насосов производится исходя из удельной нормы расхода отсасываемого воздуха, равной  $0,5 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхности фильтра в 1 мин. при вакууме 50-70%. Подбор вакуум-насосов осуществляется по таблицам 4.29 – 4.31 и 7.15 [2].

**Воздуходувки.** Воздух подается на вакуум-фильтры для отдувки кека. Тип воздуходувки может быть использован любой. Подбор типа и числа воздуходувок производится исходя из удельной нормы расхода сжатого воздуха, равной  $0,1 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхности фильтра в 1 мин. Могут быть применены водокольцевые воздуходувки (необходимо устанавливать с водоотделителями) типа ВК (табл. 4.28 – 4.31 [2]) и воздуходувки типа ТВ (табл. 4.26 – 4.27 [2]).

**Ресивер.** Ресиверы предназначаются для отделения фильтрата от воздуха. Каждый вакуум-фильтр оборудуется ресивером. Техническая характеристика ресиверов представлена в таблице 7.14 [2].

**Насосы.** Откачка фильтрата из ресивера производится центробежными насосами. Наиболее часто применяются насосы типов К, СМ и вихревые. Производительность насоса выбирается без излишнего запаса, так как при недостатке жидкости в ресивере наблюдается явление кавитации. Насосы устанавливаются под залив.

Вакуум-фильтры по требованию заказчика могут поставляться комплектно со вспомогательным оборудованием (табл. 9.11), а также и без него.

**Задача № 9.4** Рассчитать вакуум-фильтровальную установку для обезвоживания сброженной в термофильных условиях смеси осадка из первичных отстойников и активного ила расходом  $Q_{\text{ос}} = 250 \text{ м}^3/\text{сут}$ , влажностью  $P_{\text{ос}} = 98,9 \%$ .

Таблица 9.11 – Подбор вспомогательного оборудования для вакуум-фильтров типа БОУ (БсхОУ)

Площадь фильтрации, $\text{м}^2$	Производительность по всасываемому объему, $\text{м}^3/\text{мин}$ на $1 \text{ м}^2$ поверхности		Ресивер	
	вакуум-насоса	воздуходувки	объем, $\text{м}^3$	диаметр, мм
10	0,5–2	0,2–0,5	1	900
20			2,5	1200
40			4	1400

\* При вакууме 70 %

#### **9.4. Термическая обработка обезвоженных осадков**

Полученный в результате механического обезвоживания осадок содержит 42–80 % воды. При значительных количествах осадка на станции возникают

проблемы по его хранению, утилизации и транспортированию. Термическая обработка осадка производится в тех случаях, когда требуется его обеззараживание и дальнейшее снижение влажности.

Для очистных станций пропускной способностью до 30 тыс. м<sup>3</sup>/сут. термическую обработку целесообразно производить в камерах дегельминтизации (КДГМ). При большей пропускной способности предусматривается термическая сушка осадка, которая производится в различных сушильных установках: барабанных сушилках, сушилках с кипящим слоем, сушилках со встречными струями, а также в вакуум-сушилках.

Подбор сушилок следует производить исходя из производительности по испаряемой влаге с учетом паспортных данных оборудования. Технические характеристики сушилок представлены в таблице 9.12.

Таблица 9.12 – Технические характеристики сушилок

Показатели	Тип сушилки	
	Барабанная сушилка	Сушилка со встречными струями СВС-3,5/5
Производительность по испаряемой влаге, т/ч	0,3–15	3,5–5
Влажность осадков, подаваемых на сушку, %	≤80	60–65
Влажность высушенного осадка, %	30–35	30–35
Температура газов, °С:		
– на входе в барабан (сушильную камеру)	700–800	700–800
– на выходе из барабана (циклонов)	200–220	120–130
Удельный расход на 1 кг испаряемой влаги:		
– тепла, ккал	1100–1200	900
– электроэнергии, кВт·ч	0,03	0,07–0,08

1. Количество осадка в пересчете на сухое вещество:

$$Q_{\text{см.сух.}} = \frac{Q_k \cdot (100 - P_2) \cdot \rho}{100}, \text{ Т,} \quad (9.26)$$

где  $Q_k$  и  $P_2$  – соответственно расход, м<sup>3</sup>/сут, и влажность, %, кека, подаваемого на сушку;

$\rho$  – плотность осадка, т/м<sup>3</sup>, для практических расчетов принимается 1 т/м<sup>3</sup>.

2. Увеличение массы сухого осадка за счет вводимых реагентов составляет 5 %, т. е.:  $Q_{\text{сух.}} = Q_{\text{см.сух.}} + 0,05 \cdot Q_{\text{см.сух.}}, \text{ Т.}$

3. Количество влаги в кеке, подаваемом на сушку:

$$B_1 = \frac{Q_{\text{сух.}} \cdot P_2}{100 - P_2}, \text{ Т / сут.,} \quad (9.27)$$

где  $P_2$  – влажность кека, %.

4. Количество влаги осадка после термической сушки:

$$B_2 = \frac{Q_{\text{сух.}} \cdot P_3}{100 - P_3}, \text{ Т / сут.,} \quad (9.28)$$

где  $P_3$  – влажность осадка после термической сушки, принимается 30–40 %.

5. Количество испаряемой влаги:

$$\Delta B = B_1 - B_2, \text{ т / сут.} \quad (9.29)$$

6. Производится выбор типа сушилки (табл. 9.12) и её производительность по испаряемой влаге ( $q_i$ , т/ч).

7. Продолжительность работы сушилки:

$$T = \frac{\Delta B}{q_i}, \text{ ч / сут.} \quad (9.30)$$

где  $q_i$  – производительность сушильного аппарата, т/ч.

Осадок после термической сушки представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов, внешне сухой сыпучий материал.

**Задача № 9.5** Рассчитать и подобрать сушилку для термической сушки механически обезвоженного осадка расходом 14 м<sup>3</sup>/сут, влажностью 75 %.

## 10 ПОДБОР ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Подъемно-транспортное оборудование в водопроводно-канализационных сооружениях служит в основном для монтажа и демонтажа насосов, электродвигателей, задвижек, трубопроводов, технологических аппаратов и устройств, а также для производства ремонтных работ. В зданиях реagentных хозяйств работа грузоподъемных механизмов связана также с перегрузкой реагента со склада в затворные баки, транспортированием баллонов и бочек с хлором со склада в дозаторные и т. д.

Тип подъемно-транспортного оборудования (лебедки, таги, кошки, подвесные кран-балки, краны мостовые) должен выбираться с учетом габаритов сооружения, компоновки технологического оборудования, его габаритов и максимального веса поднимаемого оборудования. Необходимо также учитывать степень нагрузки оборудования и периодичность его использования, а также безопасность подъемно-транспортных операций.

Для монтажа, ремонта и демонтажа оборудования, арматуры и трубопроводов следует предусматривать следующее подъемно-транспортное оборудование с ручным приводом:

при весе узлов до 1 т (вкл.) – кошку по монорельсу или подвесную кран-балку;

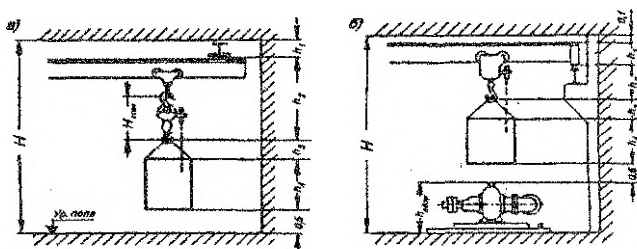
при весе узлов до 5 т (вкл.) – подвесную кран-балку;

при весе узлов более 5 т – мостовой кран.

При подъеме оборудования на высоту 6 м и более или при длине машинного зала 18 м и более, или при весе оборудования более 5 т рекомендуется применение электрических кран-балок или мостовых электрических кранов.

Электроприводы для подъемно-транспортного оборудования следует применять также в тех случаях, когда работа грузоподъемных механизмов связана с ежедневными частыми технологическими операциями.





а – подвесная кран-балка; б – мостовой кран  
**Рисунок 10.1 – Схемы размещения грузоподъемных устройств внутри сооружений**

Размеры и вес кран-балок подвесных ручных приведены в табл. 9.10, 9.11 [2], электрических – табл. 9.12 [2], кранов мостовых ручных – табл. 9.14 [2], кранов мостовых электрических – табл. 9.15 [2].

При подборе подъемно-транспортного оборудования необходимо определить высоту помещения. Помещения, оборудованные подвесной кран-балкой (рис. 10.1, а), должны иметь высоту

$$H \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5 \text{ м}, \quad (10.1)$$

где  $h_1$  – высота монорельса кран-балки с учетом конструкции подвески его к перекрытию;

$h_2$  – минимальная высота от крюка до монорельса;

$h_3$  – высота строповки груза, принимаемая равной 0,5 – 1 м;

$h_4$  – высота груза;

0,5 – высота от груза до пола или до установленного оборудования.

Если необходимо перемещать груз над установленным оборудованием, в формулу (10.1) вводится дополнительная высота установленного оборудования  $h_{оборуд}$ .

Высота подъема – расстояние от пола машинного помещения до оси крюка подъемно-транспортного устройства.

Помещения, оборудованные мостовым краном (рис. 10.1, б), должны иметь высоту

$$H \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_{оборуд} + 0,5 + 0,1 \text{ м}, \quad (10.2)$$

где  $h_1$  – высота крана над головкой подкранового рельса;

$h_2$  – минимальная высота от крюка до головки рельса;

0,1 – расстояние по высоте от низа перекрытия до верха балки крана.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительные нормы Республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СН 4.01.01-2019. Введ. 31.10.19. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020. – 67 с.
2. Трубы, арматура и оборудование водопроводно-канализационных сооружений / А. С. Москвитин [и др.]; под ред. А. С. Москвитина – М.: Стройиздат, 1970. – 528 с., ил. – (Справочник по специальным работам).
3. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений/ А. С. Москвитин [и др.]; под ред. А. С. Москвитина. – М.: Стройиздат, 1979. – 430 с., ил. – (Справочник монтажника).
4. Николадзе, Г. И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения: учеб. пособие по спец. "Водоснабжение и канализация" для вузов / Г. И. Николадзе, Д. М. Минц, А. А. Кастальский – М. : Высш. шк., 1984 – 368 с.
5. Строительные нормы Республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения: СН 4.01.02-2019. Введ. 31.10.19. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020. – 86 с.
6. Очистка сточных вод (примеры расчетов) / М. П. Лалицкая [и др.] – Минск : Высшая школа, 1983. – 232 с.
7. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. – М. : Стройиздат, 1981. – 639 с.
8. Торговый дом «Оборудование водоочистки». Установки приготовления флокулянта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.td-ov.ru/oborudovanie/polimernyye-startsii.html>. – Дата доступа: 26.12.2020.
9. ДАКТ Инжиниринг. Установка для приготовления раствора флокулянта (СПФ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dakt.com/produkcija/ustanovka-dlya-prigotovleniya-rastvora-flokulyanta/>. – Дата доступа: 26.12.2020.
10. Агрегаты электронасосные дозировочные. Каталог продукции ОАО «Гидромаш-Норнат».
11. Ампики. Насосы и промышленное оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ampika.ru/oborudovanie.html>. – Дата доступа: 26.12.2020.
12. Мишуков, Б. Г. Очистка городских сточных вод: курс лекций / Б. Г. Мишуков, С. Ю. Игнатчик, В. С. Игнатчик; СПбГАСУ. – СПб., 2014. – 196 с.
13. Ленточный фильтр-пресс ЭФП-Л. Каталог оборудования торгово-производственного предприятия «Экополимер».
14. Кичигин, В. И. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод: учебное пособие / В. И. Кичигин, Е. Д. Палагин. – Самара, 2008. – 204 с.
15. ДАКТ Инжиниринг. Ленточный коммунальный фильтр-пресс (ФПК) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dakt.com/produkcija/lentochnyj-kommunalnyj-filtr-press-fpk/>. – Дата доступа: 26.12.2020.
16. Мишуков, Б. Г. Расчет и подбор аэрационного и перемешивающего оборудования для биологической очистки сточных вод: учебное пособие / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева; СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2007. – 40 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<b>1 Условное обозначение арматуры на чертежах и в документах.</b>	
<b>Выбор трубопроводной арматуры .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Расчет и подбор оборудования для приготовления растворов реагентов. Определение площади складов реагентов.....</b>	<b>6</b>
2.1 Расчет и подбор оборудования реагентного хозяйства коагулянта .....	6
2.2 Расчет и подбор оборудования реагентного хозяйства извести .....	11
2.3 Расчет и подбор оборудования реагентного хозяйства флокулянта .....	17
2.4 Определение площади складов реагентов при "сухом" хранении.....	21
<b>3 Расчет и подбор дозаторов реагентов .....</b>	<b>22</b>
3.1 Поплавковый дозатор .....	22
3.2 Шайбовый дозатор .....	23
3.3 Насос-дозатор.....	25
3.4 Дозатор известкового молока типа ДИМБА .....	27
<b>4 Расчет и подбор воздуходувок и расчет воздухопроводов для реагентных хозяйств.....</b>	<b>27</b>
<b>5 Расчет обеззараживающих установок.....</b>	<b>30</b>
5.1 Обеззараживание воды хлором .....	30
5.2 Обеззараживание воды типохлоритом натрия .....	33
<b>6 Расчет и подбор съемных и ленточных вращающихся сороудерживающих сеток.....</b>	<b>35</b>
<b>7 Расчет и подбор гидроэлеваторов и эрлифтов .....</b>	<b>38</b>
7.1 Водоструйные насосы (гидроэлеваторы) .....	38
7.2 Эрлифты.....	40
<b>8 Расчет и подбор оборудования для сооружений биологической очистки сточных вод .....</b>	<b>44</b>
8.1 Оборудование биофильтров .....	44
8.2 Оборудование аэротенков .....	49
<b>9 Сооружения для механического обезвоживания и сушки осадков сточных вод .....</b>	<b>56</b>
9.1 Обезвоживание осадков центрифугированием .....	56
9.2 Обезвоживание осадков фильтр-прессованием .....	61
9.3 Обезвоживание осадков вакуум-фильтрованием .....	67
9.4 Термическая обработка обезвоженных осадков .....	70
<b>10 Подбор подъемно-транспортного оборудования .....</b>	<b>72</b>
<b>Список используемых источников .....</b>	<b>74</b>

Учебное издание

**Составители:**

Акулич Татьяна Ивановна  
Новосельцева Анна Геннадьевна  
Сенчук Дарья Дмитриевна

# **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”**

Ответственный за выпуск: Акулич Т.И.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.  
Корректор: Дударук С.А.

---

Подписано в печать 24.02.2021 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Arial». Усл. печ. л. 4,42. Уч. изд. л. 4,75. Заказ № 1325. Тираж 22 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.