

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Экология и рациональное использование водных ресурсов»**

**О. К. НОВИКОВА**

# **ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2015**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Экология и рациональное использование водных ресурсов»

О. К. НОВИКОВА

## ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

*Одобрено учебно-методической комиссией строительного факультета в качестве методического пособия по курсу «Технология очистки сточных вод» для студентов специальности 1–70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»*

Гомель 2015

УДК 628.3 (075.8)  
ББК 38.761.2  
Н73

Рецензент – директор ООО «Гефлис» магистр технических наук  
*А. В. Роденко.*

**Новикова, О. К.**

Н73    Обработка осадков сточных вод : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.  
ISBN 978-985-554-452-5

Приведены современные методы обработки осадков городских сточных вод. Рассмотрена методика расчета сооружений.

Предназначено для студентов дневной формы обучения специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающих дисциплину «Технология очистки сточных вод».

**УДК 628.3 (075.8)**  
**ББК 38.761.2**

**ISBN 978-985-554-452-5**

□ Новикова О. К., 2015  
□ Оформление. УО «БелГУТ», 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>1 Свойства осадков сточных вод и схемы для их обработки</b> .....	5
1.1 Состав и свойства осадков сточных вод .....	5
1.2 Схемы обработки осадков .....	8
<b>2 Уплотнение илов и осадков сточных вод</b> .....	13
2.1 Гравитационное уплотнение .....	15
2.2 Флотационное уплотнение .....	18
2.3 Механическое уплотнение .....	20
<b>3 Сооружения анаэробной и аэробной стабилизации осадков</b> .....	23
3.1 Септики .....	24
3.2 Двухъярусные отстойники .....	25
3.3 Осветлители-перегниватели .....	29
3.4 Метантенки .....	32
3.5 Аэробные стабилизаторы .....	45
<b>4 Обезвоживание осадков сточных вод</b> .....	53
4.1 Обезвоживание осадка из песколовков .....	53
4.2 Иловые площадки .....	54
4.3 Механическое обезвоживание осадков .....	59
4.3.1 Подготовка осадка для механического обезвоживания .....	59
4.3.2 Обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах .....	67
4.3.3 Обезвоживание осадков сточных вод на фильтр-прессах .....	74
4.3.4 Центрифугирование осадков .....	79
<b>5 Термическая сушка осадков сточных вод</b> .....	85
<b>6 Обеззараживание осадков сточных вод</b> .....	91
<b>7 Сжигание осадков сточных вод</b> .....	94
<b>Список литературы</b> .....	96

## ВВЕДЕНИЕ

В результате механической и биологической очистки городских сточных вод на очистных сооружениях образуются различного вида осадки, содержащие органические вещества. Количество осадков, выделяющихся при очистке сточных вод на современных очистных сооружениях, составляет от 2 до 10 % от расхода поступающих вод. Ежегодно в Республике Беларусь при очистке сточных вод образуется около 180–197 тысяч тонн осадков сточных вод по сухому веществу. Наибольший удельный вес в общей структуре осадков имеют избыточный активный ил и сырой осадок, причем объем избыточного активного ила в 1,5–2 раза больше, чем объем сырого осадка.

В мировой практике основными направлениями утилизации осадков сточных вод является захоронение на свалках, сжигание, применение в сельском хозяйстве. В США и Канаде 30 % осадков сточных вод используют как удобрение, в Великобритании – порядка 40 %, во Франции – 60 %, в Германии – 40 %. В Литве в настоящее время более половины илового осадка (52,5 %) утилизируется путем сжигания. В Нидерландах перерабатывается на компост 30–40 % бытовых отходов, в Австрии и Бельгии – около 25 %, во Франции – 8 %. В Австрии на свалках захоронено – 56 % осадков, в Швеции – 70 %. В настоящее время в Республике Беларусь основной способ обработки осадков сточных вод заключается в их обезвоживании и складировании обезвоженных осадков на иловых картах и в илонакопителях. Такой метод не отвечает современным экологическим и техническим требованиям, приводит к длительному и чаще безвозвратному отчуждению значительных земельных ресурсов, сопровождается экологическими рисками загрязнения подземных вод. Вопросы обработки и утилизации осадков городских очистных сооружений актуальны для всех крупных городов и представляют серьезную проблему.

# 1 СВОЙСТВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И СХЕМЫ ДЛЯ ИХ ОБРАБОТКИ

## 1.1 Состав и свойства осадков сточных вод

В процессе очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются осадки. В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки первичные и вторичные (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация осадков сточных вод

Группы	Типы осадков	Сооружения и оборудование, отделяющее осадки
<b>Первичные</b> – грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле.		
I	Грубые (отбросы)	Решетки, сита
II	Тяжелые	Песколовки
III	Плавающие	Жировки, отстойники
IV	Сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки	Отстойники первичные, осветлители
<b>Вторичные</b> – примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессах биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образуют твердую фазу.		
V	Сырые, выделенные из сточной воды после биологической или физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
VI	Сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, метантенках, и осадки стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели, метантенки, аэробные стабилизаторы
VII	Уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90–85 %)	Уплотнители: гравитационные, флотационные, сепараторы
VIII	Обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80–40 %	Иловые площадки, вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги и др.
IX	Сухие, подвергнутые термической сушке до влажности 5–40 %	Сушилки: барабанные, вальцовые, с кипящим слоем, со встречными струями

Составы осадков по размеру частиц отличаются большой неоднородностью. Их размеры колеблются от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

*Осадки грубые (отбросы)* задерживаются решетками. В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения. Состав отбросов включает: бумагу (65 %); тряпье (25 %); древесину, пластик (4 %); другие отбросы (6 %). Переработка этих отбросов может осуществляться в *метантенках* или направляться на *компостирование* для получения удобрения вместе с мусором.

*Осадки тяжелые:* песок, обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т. п. При проектировании количество задерживаемых тяжелых примесей принимают 0,02 л на одного человека в сутки, или 7,2 л в год, при влажности 60 % и объемной массе 1,5 т/м<sup>3</sup>.

*Осадки плавающие.* Количество этих примесей в бытовых стоках на одного человека в год составляет 2 л при влажности 60 % и объемной массе 0,6 т/м<sup>3</sup>.

*Осадки сырые* представляют собой студенистую, вязкую суспензию с кисловатым запахом. Органические вещества в них составляют 75–80 % и быстро загнивают, издавая неприятный запах. Влажность осадка при самоотечном удалении после 2-часового отстаивания принимается 95 %, а при удалении из отстойника плунжерными насосами – 93–94 %.

*Активный ил* представляет биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет хлопьевидную массу бурого цвета. В свежем виде активный ил почти не имеет запаха или пахнет землей, но, загнивая, издает специфический гнилостный запах. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью – 99,2–99,7 %.

*Шламы* выделяются в результате локальной очистки или доочистки промышленных сточных вод с применением реагентной обработки, фильтрации, электролиза, адсорбции, ионного обмена, обратного осмоса, экстракции и других методов.

*Осадки сброженные в анаэробных условиях* имеют мелкую и однородную структуру, цвет – почти черный или темно-серый. Отличаются высокой текучестью, выделяют запах сургуча или асфальта. В метантенках распад осадков сопровождается выделением большого количества газа – метана, весьма ценного для использования.

*Осадки из аэробных стабилизаторов.* Степень распада органического вещества при аэробной стабилизации значительно меньше, чем при анаэробных процессах, но оставшаяся часть достаточно стабильна. После аэробной стабилизации осадки уплотняются в отстойниках за 5-15 ч до влажности 96–98 %. При стабилизации бактерии группы коли (кишечная палочка *E. coli*) гибнут на 95 %, но яйца гельминтов не исчезают, поэтому осадки после аэробной стабилизации нуждаются в обеззараживании.

Бактериальная заселенность осадков на порядок выше, чем сточных вод. Осадки бытовых стоков содержат большое количество яиц гельминтов.

При термофильном сбраживании яйца глистов полностью погибают. То же наблюдается при термогравитационном или термофлотационном уплотнении осадков.

**Химический состав осадков.** Знание химического состава осадков необходимо для определения наиболее рациональных путей их использования и обработки.

Показатели осадков сточных вод:

1 *Влажность* – содержание массы воды в 100 кг осадка, выраженное в процентах:

$$P = \frac{m_{\text{ос}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{ос}}} \cdot 100 \% ; \quad (1.1)$$

$$P = \left( 1 - \frac{m_{\text{сух}}}{W_{\text{ос}} \rho_{\text{ос}}} \right) \cdot 100 \% , \quad (1.2)$$

где  $m_{\text{ос}}$  – масса осадка, кг;

$m_{\text{сух}}$  – сухой остаток осадка, кг;

$W_{\text{ос}}$  – объем осадка, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{ос}}$  – плотность осадка, кг/м<sup>3</sup>.

2 *Форма связи влаги.* Величина влажности не позволяет оценить в достаточной мере возможность, условия и степень удаления влаги из осадка. Это обусловлено сложностью его структуры и особенностями распределения в ней воды.

В структуре осадка влага может находиться в форме свободной воды, в физико-механической связи с твердыми частицами, а также в физико-химической и химической формах связи.

Свободная влага имеет наименьшую энергию связи со структурой осадка и легко может быть из него удалена. Физико-механически связанная влага – это капиллярная вода, вода смачивания и структурная влага. Физико-химической связью удерживается адсорбционная и осмотическая влага, а химически связанная вода, входящая в состав веществ, не выделяется даже при термической сушке осадков.

Механическими методами обезвоживания осадков, а также естественной сушкой их на иловых площадках удаляется большая часть свободной воды. Физико-механическая связь нарушается вследствие выпаривания или удаления влаги под давлением в аппаратах, которые развивают давление, больше капиллярного, и разрушают структурные связи.

3 *Удельное сопротивление фильтрации осадка* – сопротивление, оказываемое движению фильтрата через слой кека, отложившийся на 1 м<sup>2</sup> поверхности фильтра и содержащий 1 кг сухого вещества. Характеризует спо-

способность осадка к влагоотдаче при обезвоживании методом фильтрования под действием вакуума или давления. Уменьшение показателя соответствует улучшению влагоотдачи.

4 *Сжимаемость осадка*. С увеличением перепада давления поры в структуре осадка уменьшаются, вызывая возрастание сопротивления фильтрации.

Существует "критическое давление", выше которого поры кека сужаются настолько, что фильтрация становится невозможной. На рисунке 1.1 приведены схемы структур различных типов осадков.

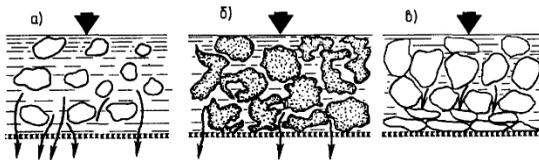


Рисунок 1.1 – Схемы структур различных типов осадков:  
а – легко фильтрующийся осадок;  
б – осадок с высоким удельным сопротивлением; в – сжимаемый осадок

5 *Индекс центрифугирования  $J_c$ , м<sup>3</sup>/кг*, используется в качестве критерия, характеризующего водоотдачу осадка в центробежном поле. Увеличение эффективности обезвоживания осадка центрифугированием достигается при величине индекса менее 6–8.

## 1.2 Методы и схемы обработки осадков

Обработка осадков проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве.

**Методы обработки осадков** включают обезвоживание, стабилизацию и обеззараживание (рисунок 1.2).

Технологические процессы обработки осадков сточных вод можно разделить на следующие основные стадии: уплотнение, стабилизация органической части, кондиционирование, обезвоживание, термическая обработка или обеззараживание, утилизация ценных продуктов (рисунок 1.3).

Для каждой из стадий существует несколько методов обработки, эффективность которых зависит от свойств осадков и местных условий. Затраты на удаление единицы объема влаги при уплотнении примерно в 10 раз ниже, чем при механическом обезвоживании (с учетом затрат на кондиционирование), и в 15–20 раз ниже, чем при термической сушке. Выбор рационального технологического процесса обработки осадков зависит от их объема и качественного состава, а также от завершающей стадии обработки. Схемы обработки осадков весьма разнообразны (таблица 1.2), а общее число всех возможных вариантов достигает нескольких сот.

## Методы

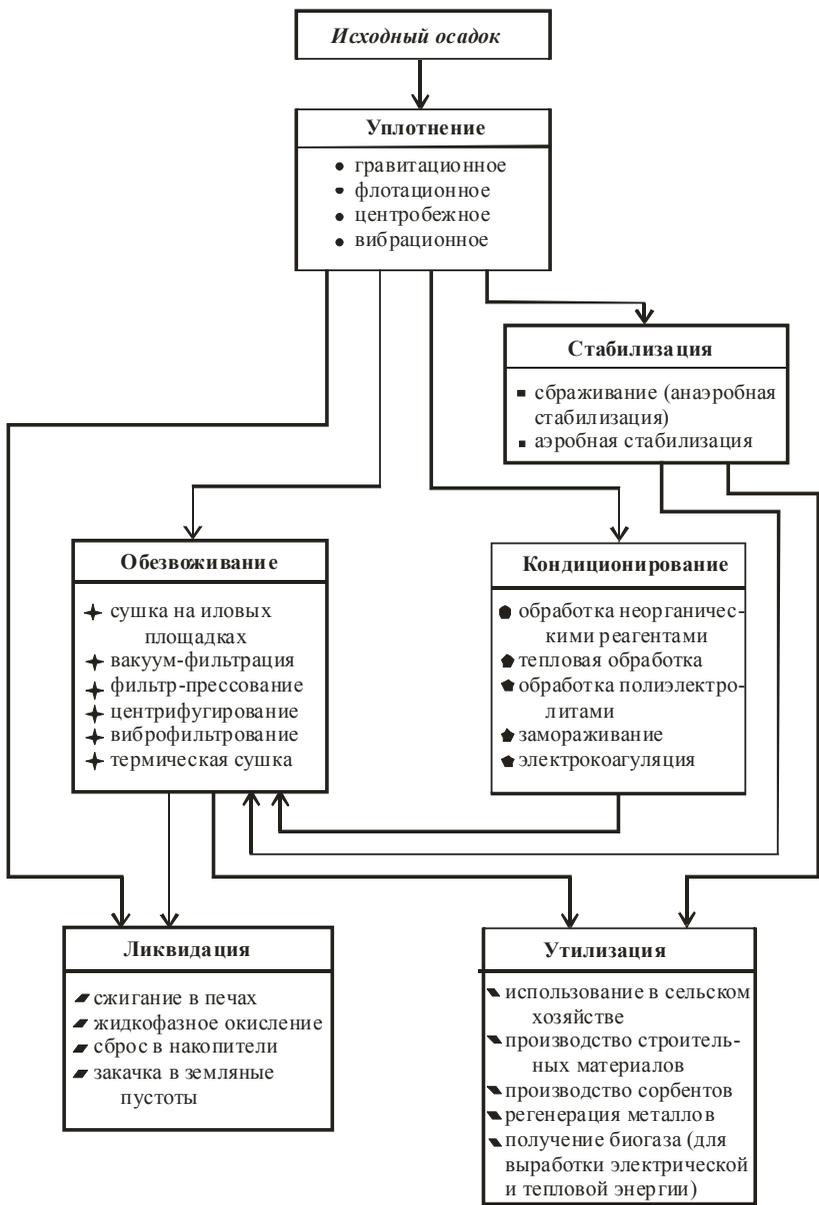


Рисунок 1.3 – Технологический цикл обработки осадков сточных вод





## 2 УПЛОТНЕНИЕ ИЛОВ И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Осаждающийся во вторичных отстойниках активный ил имеет высокую влажность. Основная часть этого ила поступает на регенерацию и снова подается в аэротенк. В результате развития микроорганизмов масса активного ила, находящегося в системе "аэротенк – вторичный отстойник", непрерывно увеличивается и образуется *избыточный активный ил*, который отделяется от рециркуляционного и направляется на дальнейшую обработку для стабилизации и обезвоживания.

Прирост активного ила зависит от содержания в очищаемой воде взвешенных и растворенных (преимущественно органических) веществ и от эффективности работы первичных отстойников. Чем лучше работают первичные отстойники, тем меньше образуется излишков активного ила во вторичных отстойниках.

Осуществлять обработку больших количеств избыточного активного ила с высокой влажностью (99,2–99,6 %) нерентабельно, поэтому его предварительно уплотняют. Применяемые для этого сооружения называются *илоуплотнителями*, устройство которых на современных очистных сооружениях обязательно.

Влажность осадка сточных вод составляет 97,0–99,5 %. При уплотнении содержание сухого вещества в осадке при незначительных затратах энергии увеличивается за счет снижения содержания влаги.

При уменьшении влажности осадка с 99 до 92 % объем осадка уменьшается в 2 раза.

В зависимости от принятой схемы очистной станции уплотнению могут подвергаться осадки из первичных отстойников, избыточный активный ил, смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила, флоатационный шлам, осадки и илы после стабилизации.

Варианты расположения уплотнителей в технологической схеме станции очистки сточных вод с использованием аэротенков приведены на рисунке 2.1.

По **схеме "а"** избыточный активный ил непрерывно поступает в илоуплотнитель, где отдает основную массу свободной влаги в виде иловой воды. Осадок из илоуплотнителя подается на дальнейшую обработку. Отделенная иловая вода содержит значительное количество растворенных органических загрязнений поэтому она возвращается в цепочку очистки воды перед аэротенками.

По **схеме "б"** осадок из первичных отстойников непрерывно поступает в отдельный уплотнитель, что позволяет увеличить производительность первичных отстойников. Отделенная иловая вода, содержащая до  $150 \text{ мг/дм}^3$  взвешенных веществ, подаётся перед первичными отстойниками.

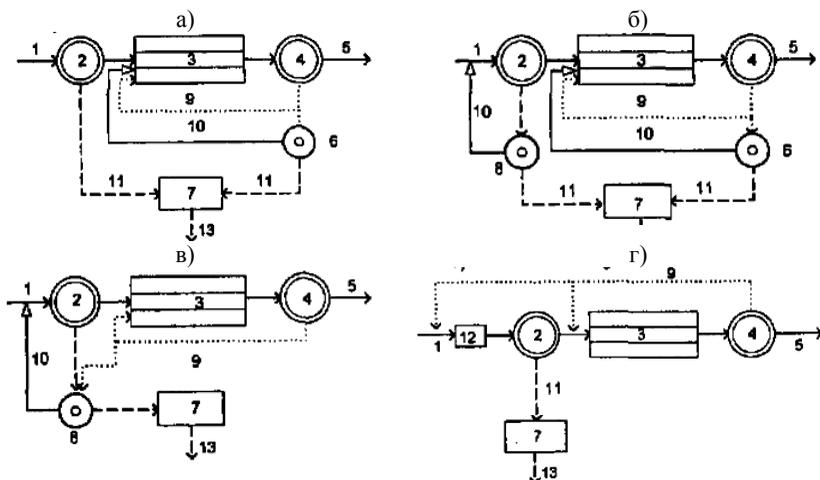


Рисунок 2.1 – Варианты технологического расположения уплотнителей на схеме станции очистки сточных вод с использованием аэротенков:

1 – подача сточных вод; 2 – первичный отстойник; 3 – аэротенк; 4 – вторичный отстойник; 5 – отведение очищенной воды; 6 – илоуплотнитель; 7 – блок обработки осадков; 8 – илоуплотнитель; 9 – активный ил; 10 – иловая вода; 11 – осадок; 12 – преаэратор; 13 – обработанный осадок

По схеме "в" уплотнением избыточного активного ила осуществляется совместно с осадком первичных отстойников. При этом уплотнитель целесообразно использовать как резервуар-регулятор расхода осадка для последующей его обработки.

По схеме "г" уплотнение осадков осуществляется без илоуплотнителей. Активный ил подается в преаэраторы в объеме, превышающем его избыточное количество, откуда со сточной водой поступает в первичные отстойники. Выносимый из первичных отстойников активный ил компенсирует недостающую часть циркулирующего активного ила, подающегося на аэротенки. В преаэраторы подается такая часть активного ила, которая превышает его избыточное количество, но позволяет выделить в первичных отстойниках весь избыточный активный ил. Эта схема дает возможность получать один вид осадка – смесь сырого осадка и активного ила.

На выбор оптимальной схемы уплотнения влияют: состав сточных вод, степень очистки, свойства активного ила.

Смесь первичного осадка и избыточного ила уплотняется более эффективно, чем избыточный ил. Для уплотнения избыточного активного ила на очистных сооружениях используют илоуплотнители: гравитационного типа (вертикальные и радиальные), флотационные, работающие по принципу компрессионной флотации и механические.

## 2.1 Гравитационное уплотнение

**Гравитационное уплотнение** – наиболее распространенный и простой способ снижения влажности осадка сточных вод при малых затратах энергии.

Конструкции вертикальных и радиальных уплотнителей аналогичны конструкциям первичных отстойников. Осадок подается в круглый резервуар, оснащенный медленно вращающимся скребком, который разрушает связь между частицами осадка, увеличивая осаждаемость и уплотнение ила. Сбор и удаление осадка в радиальных илоуплотнителях осуществляется илоскребами или илососами. Наибольшую эффективность имеют радиальные илоуплотнители с илоскребами за счет медленного перемешивания активного ила в процессе уплотнения, а также за счет меньшей высоты радиальных илоуплотнителей по сравнению с вертикальными. При перемешивании снижаются вязкость активного ила и его электрокинетический потенциал, что способствует лучшему хлопьеобразованию и осажждению. Поэтому в современных конструкциях илоуплотнителей предусматривается устройство низкоградиентных мешалок (рисунок 2.2). Расстояние между стержнями – 0,3 м, частота вращения илоскреба составляет 2–4 об/ч; продолжительность уплотнения – 4–24 ч.

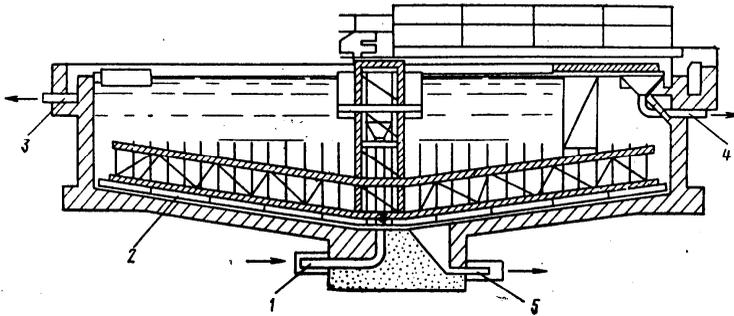


Рисунок 2.2 – Радиальный илоуплотнитель со стержневой мешалкой:  
1 – подающий трубопровод; 2 – илоскреб со стержневой мешалкой; 3 – трубопровод отвода иловой воды; 4 – то же, для удаления плавающих веществ; 5 – трубопровод уплотненного ила

Выпуск уплотнённого ила осуществляется непрерывно под гидростатическим напором больше 1 м. Отделившаяся в процессе уплотнения вода (*иловая вода*) направляется на очистку и характеризуется следующими показателями: концентрация БПК<sub>20</sub> составляет 200, взвешенных веществ – 100 мг/дм<sup>3</sup>. Илоуплотнители в высотном отношении располагаются таким образом, чтобы иловая вода из них могла быть подана в аэротенк самотеком.

Расчет вертикальных илоуплотнителей. Максимальный часовой приток избыточного активного ила, м<sup>3</sup>/ч,

$$q_{\max} = \frac{P_{i \max} Q_{\text{сут}}}{24C}, \quad (2.1)$$

где  $P_{i \max}$  – максимальный прирост активного ила, г/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{сут}}$  – суточная производительность очистной станции, м<sup>3</sup>/сут;

$C$  – концентрация избыточного активного ила, г/м<sup>3</sup>. Принимается по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Показатели уплотнения в гравитационных илоуплотнителях [2]

Характеристика избыточного активного ила	Влажность уплотненного ила, %		Продолжительность уплотнения, ч	
	в уплотнителе			
	вертикаль-ном	радиальном	вертикаль-ном	радиальном
Иловая смесь из аэротенков с концентрацией 1,5–3 г/л	–	97,3	–	5–8
Активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 4 г/л	98	97,3	10–12	9–11
Активный ил зоны отстаивания аэротенков-отстойников с концентрацией 4,5–6,5 г/л	98	97	16	12–15
Смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	93–95	93–95	7–10	7–10

Максимальный прирост активного ила, мг/дм<sup>3</sup>,

$$P_{\max} = K_m (0,8C_v + K_g L), \quad (2.2)$$

где  $K_m$  – коэффициент месячной неравномерности прироста активного ила, значение которого находится в пределах 1,15–1,3;

$C_v$  – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/дм<sup>3</sup>;

$K_g$  – коэффициент прироста, для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод равен 0,3 (при очистке в окситенках – 0,25);

$L$  – величина БПК<sub>20</sub> поступающих сточных вод в аэротенк, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Полезная площадь,  $\text{м}^2$ , поперечного сечения илоуплотнителей

$$F_{\text{пол}} = \frac{q_{\text{ж}}}{3,6v}, \quad (2.3)$$

где  $q_{\text{ж}}$  – максимальный объём жидкости, отделяемый в процессе уплотнения ила за 1 ч,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$v$  – скорость движения жидкости в отстойной зоне вертикального илоуплотнителя, составляет 0,1 мм/с [2].

Максимальный объём жидкости, отделяемый в процессе уплотнения ила за 1 ч

$$q_{\text{ж}} = q_{\text{max}} \frac{P_1 - P_2}{100 - P_2}, \quad (2.4)$$

где  $P_1$  – влажность поступающего ила, %; влажность ила, осевшего во вторичных отстойниках после аэротенков составляет 99,2–99,7 %;

$P_2$  – влажность уплотнённого ила, принимается по таблице 2.1.

В качестве илоуплотнителей принимаются вертикальные отстойники диаметром 4; 6 и 9 м [4].

Полезная площадь одного илоуплотнителя,  $\text{м}^2$ ,

$$f_{\text{пол}} = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.5)$$

где  $D$  – диаметр вертикального илоуплотнителя, м.

Количество илоуплотнителей-отстойников

$$n = \frac{F_{\text{пол}}}{f_{\text{пол}}}, \quad (2.6)$$

Число илоуплотнителей должно быть не менее 2, причем оба рабочие.

Часовой расход уплотнённого ила,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

$$q_{\text{у}} = q_{\text{max}} \frac{100 - P_1}{100 - P_2}. \quad (2.7)$$

Продолжительность хранения уплотнённого ила, ч, в иловой части

$$T_{\text{ил}} = \frac{V_{\text{ил}} n}{q_{\text{у}}}, \quad (2.8)$$

где  $V_{\text{ил}}$  – объём иловой части типового отстойника,  $\text{м}^3$ .

Если согласно расчетам необходимо применить более 4 вертикальных илоуплотнителей диаметром  $D = 9$  м, то целесообразным является применение радиальных илоуплотнителей.

Расчет радиальных илоуплотнителей. Максимальный прирост активного ила  $P_{i\max}$ , мг/дм<sup>3</sup>, определяется по формуле (2.2), а максимальный часовой приток избыточного активного ила  $q_{\max}$ , м<sup>3</sup>/ч, – по формуле (2.1).

Необходимый объем илоуплотнителя, м<sup>3</sup>,

$$V = q_{\max} T, \quad (2.9)$$

где  $T$  – продолжительность илоуплотнения, ч, принимается по таблице 2.1.

В качестве илоуплотнителей принимаются радиальные отстойники диаметром 18; 24; 30; 40; 50; 54 м [4].

Количество илоуплотнителей-отстойников

$$n = \frac{V}{V_{3.0}}, \quad (2.10)$$

где  $V_{3.0}$  – объем зоны отстаивания, м<sup>3</sup>.

Число илоуплотнителей должно быть не менее двух, причем оба рабочие.

Нагрузка на зеркало илоуплотнителя, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч),

$$q_f = \frac{q_{\max}}{n\pi R^2}, \quad (2.11)$$

где  $R$  – радиус принятого отстойника-уплотнителя, м.

Рекомендуемая нагрузка составляет 0,2–0,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

По формулам (2.4), (2.7) определяются соответственно максимальный объём жидкости, отделяемый в процессе уплотнения ила за час,  $q_{ж}$ , м<sup>3</sup>/ч, и часовой расход уплотнённого ила  $q_y$ , м<sup>3</sup>/ч.

## 2.2 Флотационное уплотнение

Флотационное уплотнение ила, по сравнению с гравитационным, требует меньшего времени и позволяет получить более глубокое и регулируемое качество уплотнения, но при этом является энергоёмким. Флотация происходит в результате прилипания тонких частиц активного ила к пузырькам воздуха и подъема их на поверхность. Концентрация ила в осветленной иловой воде составляет 200–300 мг/дм<sup>3</sup>, что выше, чем получается при гравитационном уплотнении. Для флотационного уплотнения рекомендуется применять метод напорной флотации с использованием прямоугольных или

круглых флотаторов (рисунок 2.3), как с непосредственным насыщением ила воздухом, так и с насыщением воздухом рециркулирующей части осветленной воды. Схемы флотационных установок аналогичны применяемым для очистки сточных вод.

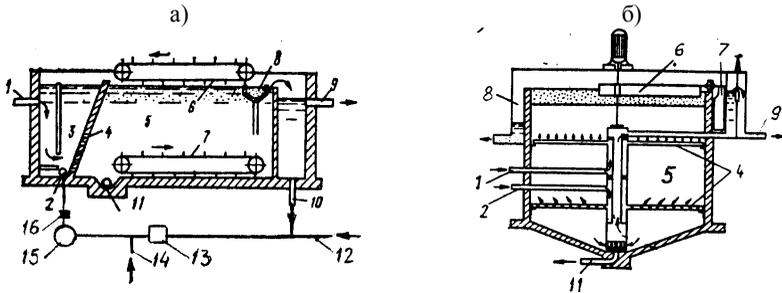


Рисунок 2.3 – Горизонтальный (а) и вертикальный (б) флотационные уплотнители:

1 – трубопровод подачи осадка; 2 – то же, рециркулирующей воды; 3 – зона смешения; 4 – впускная распределительная система; 5 – камера флотации; 6, 7 – скребки; 8 – лоток для сбора уплотненного ила; 9 – трубопровод для удаления воды; 10 – трубопровод воды на рециркуляцию; 11 – трубопровод опорожнения и удаления выпавшего осадка; 12 – трубопровод подпитки технической водой; 13 – насос; 14 – трубопровод подачи сжатого воздуха; 15 – напорный резервуар; 16 – регулятор давления

Диспергирование воздуха в иловой смеси флотационных илоуплотнителей осуществляется двумя способами:

- 1) непосредственным насыщением воздухом всего объема ила;
- 2) путем насыщения воздухом циркулирующей части осветленной воды из вторичных отстойников.

*Преимущества флотационных илоуплотнителей:*

- позволяет применять компактные сооружения с небольшой площадью и малым объемом;
- эффективное уплотнение осадков с коллоидной структурой.

*Недостатки флотационных илоуплотнителей:*

- более высокие по сравнению с гравитационным уплотнением эксплуатационные затраты;
- невозможность накопления большого количества ила в уплотнителе;
- малая эффективность уплотнение сырого осадка, а также сырых и стабилизированных смесей осадков наиболее эффективно происходит в гравитационных уплотнителях;
- возможное замерзание концентрированной иловой пены на поверхности уплотнителя в зимнее время;
- более сложная эксплуатация по сравнению с гравитационными.

При проектировании флотационного уплотнителя принимают:

- удельную нагрузку по сухому веществу – 5–10 кг/(м<sup>2</sup>·ч);

– удельный расход воздуха – 10–20 дм<sup>3</sup>/кг сухого вещества ила.

Влажность уплотненного осадка принимают: при уплотнении без полиэлектролитов – 95–97 %, с применением полиэлектролитов – 94–96,5 % в соответствии с дозой полиэлектролита и нагрузкой.

Площадь поперечного сечения флотатора, м<sup>2</sup>,

$$F = \frac{q_{\max}}{q_f}, \quad (2.12)$$

где  $q_{\max}$  – максимальный часовой приток избыточного активного ила, м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле (2.1).

$q_f$  – гидравлическая нагрузка на поверхность зеркала, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> ч), принимается по таблице 2.2 в зависимости от произведения илового индекса  $J_i$ , дм<sup>3</sup>/кг, на концентрацию поступающего ила  $a_i$ , кг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 2.2 – Гидравлическая нагрузка на поверхность зеркала флотационного илоуплотнителя [2]

$J_i a_i$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$q_f$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	12	10	9	8	7,5	6,7

Продолжительность пребывания активного ила в зоне уплотнения принимается  $t = 2...3$  ч, а продолжительность пребывания иловоздушной смеси в напорном баке – 2–4 мин, давление насыщения воздухом – 0,3–0,4 МПа.

Повышение степени уплотнения и сокращение продолжительности процесса достигают прогреванием, добавкой химических реагентов, разбавлением активного ила очищенной сточной водой, а также совместным уплотнением ила с осадком первичных отстойников.

Для интенсификации флотационного процесса илоуплотнения и повышения концентрации выгружаемого осадка в ряде случаев используют добавление полиэлектролитов.

### 2.3 Механическое уплотнение

Механическое уплотнение обычно применяют для уплотнения избыточного ила, но может также использоваться для уплотнения первичного осадка или смеси первичного осадка с избыточным илом. Смесь осадков часто подвергается механическому уплотнению на очистных сооружениях с небольшим объемом первичных отстойников или без метантенков.

При механическом уплотнении используются флокулянты и повышается расход электроэнергии. Флокулянт подается в илоуплотнитель, оснащенный мешалкой для перемешивания и устойчивого хлопьеобразования. Ме-

ханический илоуплотнитель может работать в непрерывном режиме (24 ч/сут/7 дней в неделю), в несколько смен (например, 8 ч/сут/5 дней в неделю или 16 ч/сут/5 дней в неделю – на очистных сооружениях небольшой производительности). В этом случае необходимо устройство промежуточного резервуара.

Механическое уплотнение чаще применяется на крупных и средних очистных сооружениях и в качестве предварительной обработки перед обезвоживанием без процесса сбраживания [9]. Стоимость оборудования для механического уплотнения составляет от 70 000 до 150 000 €, срок эксплуатации – 15–20 лет [9]. Обычно очистка уплотнителей проводится примерно один раз в 2 недели.

Для уплотнения наиболее часто применяют шнековые, барабанные и ленточные илоуплотнители, а также центрифуги.

**Шнековый илоуплотнитель** представляет собой наклонную клиновидную сетку. Шнек, медленно вращаясь с переменной скоростью, осторожно подает осадок вверх через сетку. Вода вытекает сквозь сетку. Степень уплотнения регулируется с помощью пластины на выходе и переменной скорости шнека. Очистка сетки проводится во время работы автоматической системой промывки.

Шнековый илоуплотнитель позволяет уплотнять осадок городских сточных вод с 0,5–1 до 4–7 % по сухому веществу. Общий объем осадка при низком расходе энергии и воды для промывки можно уменьшить на 90 % от первоначального объема [9].

Шнековые уплотнители, как правило, изготавливаются из нержавеющей стали. Их мощность может варьироваться от 20 до 100 м<sup>3</sup>/ч. Оборудование имеет закрытую конструкцию, что позволяет устранить неприятный запах. Необходимая площадь зависит от производительности илоуплотнителя и обычно составляет 2–4 м в ширину, 5–10 м в длину и 3–6 м в высоту (включая пространство для технического обслуживания). Данное оборудование всегда устанавливается в помещении.

Установленная мощность шнекового илоуплотнителя – около 4–10 кВт. Потребляемая мощность оборудования занимает незначительную часть от общего энергопотребления очистных сооружений (около 3–7 кВт·ч/т сухого вещества). Расход электроэнергии зависит также от фактического времени работы оборудования. Расход флокулянта составляет порядка 2–6 кг на тонну сухого вещества.

**Барабанный илоуплотнитель** состоит из блока флокуляции с системой подачи флокулянта и вращающихся цилиндрических решеток. Флокулированный осадок подается на вращающиеся решетчатые барабаны, которые отделяют осадок от воды. Уплотненный осадок выкатывается из барабана, фильтрат вытекает через решетки.

Технические характеристики барабанных илоуплотнителей аналогичны характеристикам шнековых илоуплотнителей. Их производительность составляет от 10 до 70 м<sup>3</sup>/ч и более в зависимости от объема осадка и требуемого выхода по сухому веществу. Общий объем осадка можно уменьшить на 90 % от первоначального. При использовании барабанного илоуплотнителя осадок уплотняется до 5–7 % по сухому веществу.

Барабанный илоуплотнитель изготавливается из нержавеющей стали и имеет полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать запах и воздействие на окружающую среду. Для облегчения доступа и технического обслуживания предусмотрены смотровые лючки и съемные боковые панели. Основными преимуществами барабанных илоуплотнителей являются низкая стоимость технического обслуживания, низкое энерго- и водопотребление, небольшая площадь и объем. Необходимая площадь зависит от производительности и, как правило, составляет 2–3 м в ширину, 7–15 м в длину и 3 м в высоту, включая пространство для технического обслуживания. Данное оборудование всегда устанавливается в помещении.

Потребление электроэнергии барабанного илоуплотнителя сопоставимо с потреблением электроэнергии шнекового илоуплотнителя (3–7 кВт·ч/т сухого вещества). Установленная мощность – 4–10 кВт. Расход флокулянта не превышает 2–6 кг на тонну сухого вещества.

**Ленточный уплотнитель** (гравитационный ленточный сгуститель) создан на основе ленточного фильтр-пресса для обезвоживания. Он состоит из отжимающей ленты, которая движется над роликами, приводимыми в движение мотором. После блока флокуляции осадок непрерывно и равномерно подается на установку по всей ширине ленты. Вода стекает через ленту, благодаря чему осадок достигает целевого содержания сухого вещества. Для улучшения дренажа лента оснащена равномерно распределенными лезвиями. Лента автоматически промывается фильтратом.

Производительность установки, как правило, составляет 24–180 м<sup>3</sup>/ч. Общий объем осадка можно снизить до 90 % от первоначального. Среднее содержание сухого вещества составляет около 5–7 %. Необходимая площадь зависит от производительности и аналогична площади, необходимой для установки шнекового уплотнителя.

Ленточный уплотнитель изготавливается из нержавеющей стали и имеет полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать неприятный запах и воздействие на окружающую среду. Для облегчения доступа и технического обслуживания уплотнитель имеет съемную крышку. Преимуществами ленточного уплотнителя являются низкая стоимость обслуживания, низкие затраты электроэнергии и небольшая требуемая площадь (объем).

Расход электроэнергии при эксплуатации ленточного илоуплотнителя незначителен. Установленная мощность варьируется в зависимости от производителя от 3 до 10 кВт (около 3–7 кВт·ч/т сухого вещества).

Расход реагента, как правило, составляет 2–6 кг флокулянта на тонну сухого вещества.

**Центрифуги** используются для уплотнения и обезвоживания осадка. Обезвоживающие и уплотняющие осадок центрифуги имеют некоторые существенные различия в конструкции. Уплотняющие центрифуги предназначены для эффективного уплотнения при низком энергопотреблении и расходе флокулянта, тогда как обезвоживающие предназначены для максимально эффективного снижения влажности.

Центрифуги изготавливаются из нержавеющей стали и имеют полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать неприятный запах и воздействие на окружающую среду. При вращении на высоких оборотах жидкая фракция отделяется от твердой.

Содержание сухого вещества в осадке, уплотненном с помощью центрифуги, составляет около 5–7 %. Необходимая площадь зависит от производительности и аналогична площади, требуемой для установки барабанного уплотнителя.

Расход флокулянта при обезвоживании на центрифуге незначителен (1,0–1,5 г/кг сухого вещества), однако расход энергии значительно выше по сравнению с другими методами механического уплотнения. В отличие от трех других методов, центрифуга может работать без добавления флокулянта, однако в этом случае эффект отделения жидкой фракции от твердой значительно ниже.

Осветленная вода после уплотнения осадка возвращается в «голову» очистных сооружений или очищается вместе с фильтратом.

### **3 СООРУЖЕНИЯ АНАЭРОБНОЙ И АЭРОБНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ**

**Стабилизация** достигается путем разложения органической части до простых соединений или продуктов, имеющих длительный период ассимиляции окружающей средой.

Методы стабилизации:

- биологические;
- химические;
- физические;
- комбинированные.

На выбор метода влияют: вид осадков, их количество, возможность и условия дальнейшего использования, наличие территории для их размещения.

Наибольшее распространение получили методы биологической анаэробной и аэробной стабилизации:

- септики;
- двухъярусные отстойники;
- осветлители-перегиватели;
- метантенки,
- аэробные минерализаторы

биологический процесс разложения органической массы происходит экстенсивно под влиянием внешних условий

интенсивный процесс минерализации происходит в специальных условиях

### 3.1 Септики

**Септики** – комбинированные сооружения, в которых происходит осветление сточной воды и сбраживание (перегивание) выпавшего осадка. Септики обычно применяют при очистке небольших количеств сточных вод (до  $25 \text{ м}^3/\text{сут}$ ), поступающих от отдельно стоящих зданий или группы зданий. В зависимости от расхода сточных вод принимают септики:

- однокамерные – при расходе до  $1 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;
- двухкамерные – при расходе до  $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;
- трехкамерные – при расходе свыше  $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Конструкция двухкамерного септика приведена на рисунке 3.1.

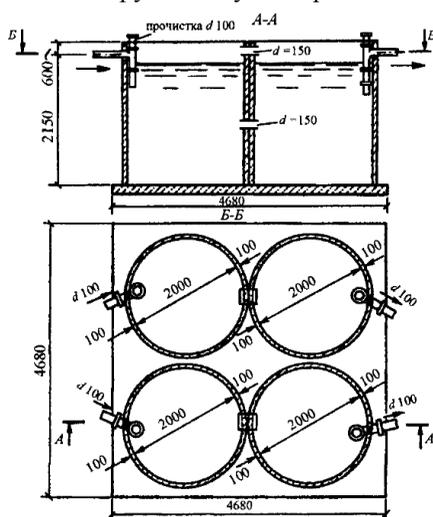


Рисунок 3.1 – Двухкамерный септик из железобетонных колец

Септики выполняют из сборного железобетона, камня, кирпича, дерева. Взвешенные вещества, содержащиеся в сточной воде, выпадают в осадок, накапливающийся на дне септика. Осадок представляет собой частицы преимущественно органического происхождения. Под действием анаэробных микроорганизмов органическая часть осадка превращается в газы и минеральные соединения. Пузырьки газа поднимаются вверх, к ним прилипают частицы осадка и, таким образом, на поверхности септика образуется корка толщиной  $0,35\text{--}0,4 \text{ м}$ . Корка соприкасается с очищенной водой и вызывает ее вторичное загрязнение, вода на выходе из септика имеет запах сероводорода.

Выпавший осадок находится в септике от 6 до 12 месяцев, в течение которых подвергается анаэробному разложению. Осадок следует удалять периодически, но не полностью. Следует оставлять 20 % осадка для задержания вновь поступившей воды.

Влажность осадка, сброженного в септике, составляет 90 %.

Для обеспечения малой скорости движения сточных вод и возможности длительного пребывания осадка объем септиков должен быть большим, что влечет за собой высокую стоимость.

Полный расчетный объем септика следует принимать равным 3-суточному притоку – при расходе сточных вод до  $5 \text{ м}^3/\text{сут}$  и не менее 2,5-суточному – при расходе более  $5 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

В двухкамерных септиках объем первой камеры следует принимать равным 0,75, а в трехкамерных – 0,5 расчетного объема. При этом объем второй и третьей камер надлежит принимать по 0,25 расчетного объема.

*Преимущества:* очень высокий процент осаждения взвешенных веществ.

### 3.2 Двухъярусные отстойники

**Двухъярусные отстойники** служат для осветления сточных вод, уплотнения и сбраживания выпавшего осадка. Применяются на станциях пропускной способностью до 10 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$ . Представляют собой резервуары цилиндрической или прямоугольной в плане формы. В верхней части сооружений расположены проточные желоба, в которых происходит осветление сточной воды, а в нижней части находится камера сбраживания выпавшего осадка (рисунок 3.2).

Осадочные желоба, по которым протекает сточная вода, выполняют функции горизонтального отстойника, и в них происходит выпадение оседающих взвешенных веществ. Выпавший осадок сползает по наклонным стенкам нижней части желоба в щель и поступает в иловую камеру. Нижние грани желоба должны перекрывать одна другую примерно на 0,15 м, чтобы всплывающие при перегнивании частицы ила и пузырьки газа не попадали в осадочный желоб. Устройство щели частично предотвращает возможность заражения осветленной воды продуктами разложения. Впуск воды в осадочный желоб и выпуск из него выполняют так же, как и в горизонтальных отстойниках: в виде водосливных и сборных лотков на всю ширину желоба. В начале осадочной части устанавливают входную полупогруженную доску для равномерного распределения воды по всему сечению, а в конце – выходную для задерживания на поверхности воды всплывающих частиц. Сброженный ил удаляется из септической камеры вниз (как в вертикальных отстойниках) через иловую трубу диаметром 200 мм под гидростатическим напором 1,5–1,8 м.

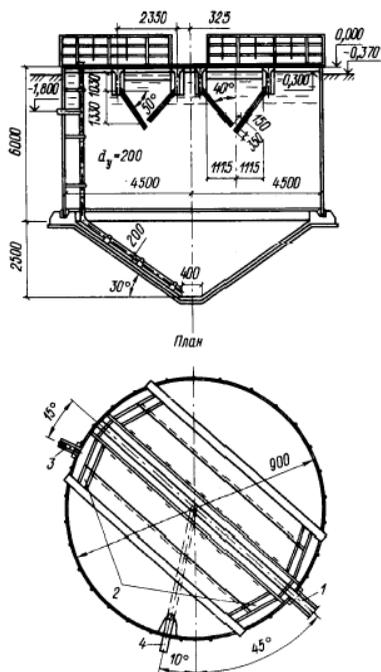


Рисунок 3.2 – Одиночный двухъярусный отстойник:  
 1 – подводящий лоток; 2 – полупогружная доска; 3 – отводящий лоток; 4 – выпуск ила

Осадок, попавший в иловую камеру двухъярусного отстойника, под воздействием анаэробных микроорганизмов минерализуется в мезофильных условиях по двухстадийному процессу, чем существенно отличается от процесса сбраживания в септиках. Первая фаза – кислое брожение, в результате которого сложные органические вещества (белки, жиры и углеводы) расщепляются до кислот жирного ряда. Затем процесс переходит во вторую фазу – метановое брожение, являющуюся при правильной эксплуатации отстойника постоянной. Продуктами этой фазы минерализации являются метан, диоксид углерода и частично сероводород.

Сбраживание осадка в двухъярусных отстойниках при нормальной их работе идет без выделения дурно пахнущих газообразных продуктов; зрелый осадок имеет характерный слабый запах асфальта или сургуча.

Искусственный подогрев осадка в двухъярусных отстойниках обычно не предусматривается.

В большинстве случаев для них характерен температурный интервал от 10 до 15 °С, поэтому для созревания осадка требуется от 60 до 120 дней. Для предохранения иловой части двухъярусных отстойников от охлаждения их заглубляют в землю или обсыпают со всех сторон землей. Поверхность сооружений на зиму следует утеплять.

При среднегодовой температуре воздуха до 3,5 °С двухъярусные отстойники с пропускной способностью до 500 м<sup>3</sup>/сут должны быть размещены в отапливаемых помещениях, при среднегодовой температуре воздуха от 3,5 до 6 °С и пропускной способности до 100 м<sup>3</sup>/сут – в неотапливаемых помещениях.

Для ускорения созревания осадка до пуска в эксплуатацию двухъярусных отстойников рекомендуется загрузить в септическую камеру зрелый осадок.

Недостатками двухъярусных отстойников являются:

– большой объем иловой части, что существенно увеличивает стоимость сооружения;

– невыгодное применение при высоком уровне грунтовых вод.

Двухъярусные отстойники следует предусматривать одинарные или спаренные. В спаренных отстойниках следует обеспечивать возможность изменения направления движения сточных вод в осадочных желобах.

Расчет двухъярусных отстойников. При проектировании двухъярусных отстойников следует принимать:

– количество отстойников – не менее 2;

– количество желобов – не менее 2;

– расстояние между стенками соседних осадочных желобов – не менее 0,5 м;

– наклон стенок осадочного желоба к горизонту – не менее 50°, при этом стенки должны перекрывать одна другую не менее чем на 0,15 м;

– глубину осадочного желоба – 1,2–2,5 м, так как на большей глубине нельзя достигнуть равномерного протекания воды по всему поперечному сечению;

– ширину щели осадочного желоба – 0,15 м;

– высоту нейтрального слоя от щели желоба до уровня осадка в септической камере – 0,5 м;

– уклон конического днища септической камеры – не менее 30°;

– влажность удаляемого осадка – 90 %;

– распад беззольного вещества осадка – 40 %;

– эффективность задержания взвешенных веществ – 40–50 %.

Ширина одного желоба двухъярусного отстойника, м,

$$B_{\text{до}} = \frac{1000q_{\text{max}}}{n_{\text{ж}}v_{\text{w}}H_{\text{сет}}n_{\text{до}}}, \quad (3.1)$$

где  $q_{\text{max}}$  – максимальный секундный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$v_{\text{w}}$  – скорость рабочего потока, равная 0,002–0,007 м/с.

Длина осадочных желобов двухъярусных отстойников  $L_{\text{ж}}$ , м, принимается равной 6; 9 и 12 м.

Диаметр двухъярусного отстойника  $D_{\text{до}}$ , м, принимается равным длине осадочных желобов  $L_{\text{ж}}$ .

Доля поверхности двухъярусных отстойников, свободная от желобов

$$F_{\text{св}} = 1 - \frac{4n_{\text{ж}}B_{\text{до}}}{\pi D_{\text{до}}}. \quad (3.2)$$

Величина  $F_{\text{св}}$  должна быть не менее 20 %, в противном случае необходимо изменить количество отстойников  $n_{\text{до}}$  и повторить расчет.

Объем септической (иловой) камеры двухъярусного отстойника, м<sup>3</sup>,

$$W_{\text{ил}} = \frac{\text{ЭН}w_{\text{ил}}}{1000n_{\text{до}}}, \quad (3.3)$$

где  $w_{\text{ил}}$  – вместимость септической камеры л/(чел.год), принимается по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Вместимость септической камеры [7]

Среднезимняя температура сточных вод, °С	6	7	8,5	10	12	15	20
Вместимость септической камеры, л/чел.год	110	95	80	65	50	30	15
<i>Примечания</i>							
1 Вместимость септической камеры двухъярусных отстойников должна быть увеличена на 70 % при подаче в нее ила из аэротенков и высоконагружаемых биофильтров и на 30 % – при подаче ила из отстойников после капельных биофильтров.							
2 Вместимость септической камеры двухъярусных отстойников для осветления сточной воды при подаче ее на поля фильтрации допускается уменьшать не более чем на 20 %.							

Высота конической части двухъярусного отстойника, м,

$$H_{\text{кон}} = \frac{\text{tg}(\alpha)D_{\text{до}}}{2}, \quad (3.4)$$

где  $\alpha$  – угол наклона стенок, принимаемый равным не менее 30°.

Объем конической части двухъярусного отстойника, м<sup>3</sup>,

$$W_{\text{кон}} = \frac{\pi D_{\text{до}}^2 H_{\text{кон}}}{12}. \quad (3.5)$$

Высота септической камеры в цилиндрической части двухъярусного отстойника, м,

$$H_{\text{цил}} = 4 \frac{W_{\text{ил}} - W_{\text{кон}}}{\pi D_{\text{до}}^2}. \quad (3.6)$$

Полная высота двухъярусного отстойника, м,

$$H_{\text{до}} = H_{\text{сет}} + H_{\text{кон}} + H_{\text{цил}} + H_1 + H_2, \quad (3.7)$$

где  $H_1$  – высота борта над слоем воды, равная 0,3–0,5, м;

$H_2$  – высота нейтрального слоя (от щели желоба до слоя осадка), равная 0,5, м.

Основные размеры типовых двухъярусных отстойников из монолитного и сборного железобетона приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные размеры типовых двухъярусных отстойников из монолитного и сборного железобетона [2]

Основные типоразмеры	Конструктивное исполнение сооружений						
	монолитное				сборное		
Диаметр, м	6	6	9	9	9	12	12
Общая высота, м	7,6	8,8	8,5	9,7	8,5	8,2	9,4
Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч, при периоде отстаивания 1,5 ч	13,7	13,7	37,5	37,5	31	67	67

### 3.3 Осветлители-перегниватели

**Осветлитель-перегниватель** – комбинированное сооружение, состоящее из осветлителя с естественной аэрацией, концентрически располагаемого внутри перегнивателя.

Осветлители-перегниватели проектируются в виде вертикальных отстойников с внутренней камерой флокуляции (рисунок 3.3), с естественной аэрацией за счет разности уровней воды в распределительной чаше и осветлителе.

Сточные воды по лотку 1 подаются в центральную трубу 2, к концу которой прикреплен отражательный щит. Напор воды 0,6 м, обусловленный разностью отметок уровня жидкости на входе в трубу и в осветлителе, обеспечивает скорость движения в трубе 0,5–0,7 м/с, необходимую для засасывания воздуха из атмосферы.

Воздушная смесь из трубы 6 поступает в камеру флокуляции, где сточная вода находится в течение 20 мин, затем направляется в отстойную камеру, проходя образовавшийся взвешенный слой. Продолжительность пребывания в отстойной камере не менее 70 мин.

Осадок, выпавший на дно осветлителя, по трубе 12 направляется в приемный резервуар насосной станции, откуда насосом по напорному трубопроводу подается в верхнюю зону перегнивателя, в которой осадок подвергается сбраживанию. Для предупреждения образования корки в камере сбраживания осадок периодически перемешивается.

Преимущества:

- разделение зон осветления и сбраживания исключает попадание осадка в очищенную воду;
- перемешивание осадка в иловой камере способствует более интенсивному течению процесса минерализации.

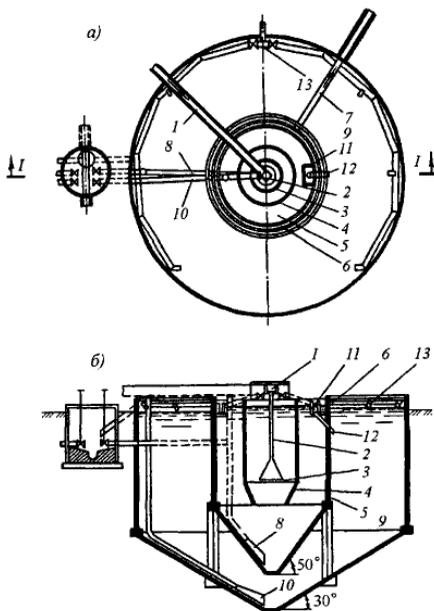


Рисунок 3.3 – Осветлитель-перегниватель:

а – план; б – разрез.

1 – подающий лоток; 2 – центральная труба; 3 – отражательный щит; 4 – камера флокуляции; 5 – зона отстаивания (осветлитель); 6 – сборный периферийный лоток; 7 – отводящая труба осветленной воды; 8 – иловая труба; 9 – камера для сбраживания осадка (перегниватель); 10 – труба для удаления сброженного осадка; 11 и 12 – лоток и труба для удаления корки; 13 – илораспределительная труба

Недостаток: возможно загнивание сточных вод, что ухудшает качество очищенной воды.

Расчет осветлителей-перегнивателей. При проектировании осветлителей-перегнивателей следует принимать:

- разность уровней воды в распределительной чаше и осветлителе – 0,6 м без учета потерь напора в коммуникациях;
- вместимость камеры флокуляции – на пребывание в ней сточных вод не более 20 мин;
- глубину камеры флокуляции – 4–5 м;
- скорость движения воды в зоне отстаивания – 0,8–1,5 мм/с, в центральной трубе – 0,5–0,7 м/с;
- диаметр нижнего сечения камеры флокуляции – исходя из средней скорости 8–10 мм/с;
- расстояние между нижним краем камеры флокуляции и поверхностью осадка в иловой части – не менее 0,6 м;
- уклон днища осветлителя – не менее 50°.
- расчетное снижение концентрации загрязняющих веществ по взвешенным веществам – до 70 % и по БПК<sub>полн</sub> – до 15 %.

Вместимость перегнивателя определяется по суточной дозе загрузки осадка, которая зависит от влажности осадка и средней температуры сточных вод и принимается по таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Удельная суточная нагрузка хозяйственно-бытовых сточных вод на 1 м<sup>3</sup> осветлителей-перегнивателей [7]

Среднезимняя температура сточных вод, °С	6	7	8,5	10	12	15	20
Доза загрузки, %	0,72	0,85	1,02	1,28	1,7	2,57	5

Диаметр камеры флокуляции, м,

$$D_{fl} = \sqrt{\frac{240q_{max}t_{fl}}{\pi n_{os} H_{set}}}, \quad (3.8)$$

где  $q_{max}$  – максимальный секундный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$t_{fl}$  – продолжительность флокуляции, принимается не более 20 мин;

$n_{os}$  – количество осветлителей-перегнивателей;

$H_{set}$  – глубина рабочей части, принимаемая в пределах 4–5 м.

Высота конусной части осветлителя, м,

$$H_{кон}^{os} = 0,5D_{set} \cdot \operatorname{tg}(\alpha), \quad (3.9)$$

где  $D_{set}$  – диаметр осветлителя, который должен быть не более 9 м;

$\alpha$  – угол наклона конического днища, равный не менее 50°.

Вместимость одного перегнивателя, м<sup>3</sup>,

$$W_{mud1}^{pr} = \frac{100Q_{mud}}{n_{os} D_{сут}}, \quad (3.10)$$

где  $Q_{mud}$  – количество осадка, выделяемого при отстаивании за сутки, м<sup>3</sup>/сут;

$D_{сут}$  – суточная доза загрузки осадка, %, принимается по таблице 3.3.

Высота перегнивателя, м,

$$H_{mud} = H_{set} + \frac{H_{кон}^{os}}{2} + H_1, \quad (3.11)$$

где  $H_1$  – расстояние между низом камеры флокуляции и поверхностью осадка в иловой части, равное не менее 0,6 м.

Диаметр перегнивателя, м,

$$D_{mud} = \sqrt{\frac{4W_{mud1}^{pr}}{\pi H_{mud}}}. \quad (3.12)$$

Если разность рассчитанного диаметра  $D_{mud}$  и диаметра осветлителя  $D_{set}$  меньше 0,7 м, то следует принимать  $D_{mud} \geq D_{set} + 0,7$ .

Полная высота осветлителя-перегнвателя, м,

$$H_{op} = H_{mud} + H_{кон} + H_2, \quad (3.13)$$

где  $H_2$  – высота борта над слоем воды, равная 0,3–0,5 м.

Размеры осветлителей-перегнвателей приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Основные размеры типовых осветлителей-перегнвателей [2]

Диаметр сооружения, м	Параметры осветлителя, м		Технологический объем перегнвателя, м <sup>3</sup>	Пропускная способность сооружения, м <sup>3</sup> /ч
	диаметр	площадь зоны осветления		
9	5	15,5	306	41,3
12	5	15,5	640	50,0
15	6	22,5	1060	73,0

### 3.4 Метантенки

**Метантенки** – это сооружения для анаэробной стабилизации осадков сточных вод. Чаще всего в метантенках сбраживается осадок первичных отстойников или активный ил, или их смесь.

Анаэробное сбраживание – один из старейших и до сих пор наиболее часто используемых методов стабилизации осадка. Впервые анаэробное сбраживание в метантенках стало применяться более ста лет назад в США. Содержащиеся в осадке концентрированные органические и неорганические вещества при дефиците кислорода разлагаются, превращаясь в метан и конечные неорганические продукты. Основными преимуществами сбраживания являются стабилизация осадка сточных вод, уменьшение его объема и производство биогаза.

Анаэробное метановое сбраживание включает *четыре взаимосвязанные стадии*, осуществляемые различными группами бактерий (рисунки 3.4):

*I* – стадия ферментативного гидролиза нерастворимых сложных органических веществ с образованием более простых растворенных веществ. К первой группе относятся ферментативные бактерии, осуществляющие стадии ферментативного гидролиза и кислотообразования, с выделением в среду биологических катализаторов. Скорость гидролиза зависит от природы органических веществ, количества ферментов, контакта с органическим субстратом.

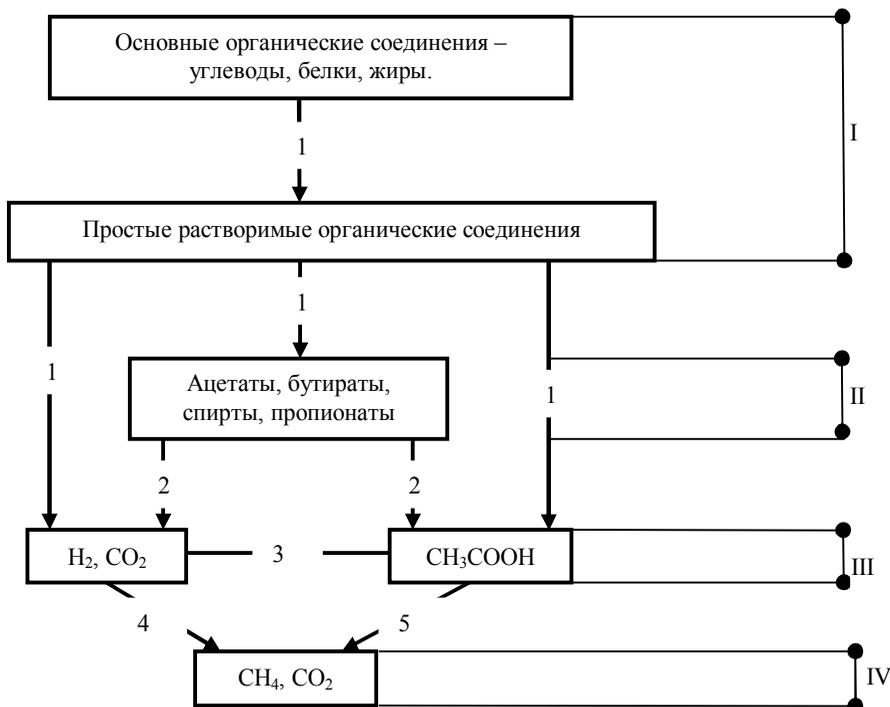


Рисунок 3.4 – Схема анаэробного метанового сбраживания

*Участвующие группы бактерий:* 1 – ферментативные кислотогены; 2 – ацетогены, образующие  $H_2$ ; 3 – ацетогены, использующие  $H_2$ ; 4 – метаногены, восстанавливающие  $CO_2$ ; 5 – метаногены, использующие ацетат. Стадии процесса: I – гидролиз; II – кислотообразование; III – образование уксусной кислоты; IV – образование метана

*II* – стадия кислотообразования с выделением короткоцепочечных летучих жирных кислот, аминокислот, спиртов, а также водорода и углекислого газа (кислотогенная стадия). Кислотогенная стадия осуществляется гетеротрофными микроорганизмами, для которых углерод простых органических соединений является источником питания. Бактерии этой стадии неприхотливы и растут с высокой скоростью.

*III* – ацетогенная стадия превращения летучих жирных кислот, аминокислот, спиртов в уксусную кислоту. Ацетогенная стадия осуществляется двумя группами ацетогенных бактерий. Первая образует ацетат с выделением водорода, вторая – приводит к образованию уксусной кислоты путем использования водорода для восстановления  $CO_2$ .

*IV* – метаногенная стадия образования метана из уксусной кислоты, а также в результате реакции восстановления водородом углекислого газа. На

метаногенной стадии бактерии групп «г» и «д» образуют метан двумя способами:

1) восстановление углекислоты, метанола и муравьиной кислоты водородом (группа бактерий «г») – образуется 28 % метана;

2) расщепление уксусной кислоты (группа бактерий «д») – образуется 72 % метана.

Метановые бактерии – строгие анаэробы, они весьма чувствительны к присутствию в среде растворенного кислорода и нитратов. Оптимальное значение рН = 7,0...7,5, хотя эти бактерии могут работать и при рН = 9...10, если время их пребывания не менее 20 сут. Концентрация кислорода, равная 0,01 мг/л, губительно действует на метановые бактерии.

Источниками углерода для метановых бактерий являются ацетат-ион и углекислый газ, источником энергии служит водород, главным источником азота – аммиак, а источником серы – сульфиды. Метаногены также испытывают потребность в различных микроэлементах: калии, натрии, кальции, магнии, кобальте, меди, боре, цинке, молибдене.

Таким образом, анаэробное сбраживание органических веществ осуществляется сообществом микроорганизмов, составляющих трофическую цепь первичных и вторичных анаэробов, для которых характерно использование продуктов обмена одних групп бактерий другими.

*Эффективность процесса анаэробного сбраживания* оценивается по степени распада органического вещества, количеству и составу образующегося биогаза.

При сбраживании осадков из первичных отстойников, где содержится больше жиров, образуется больше биогаза, чем при сбраживании активного ила.

Различают три основные *температурные зоны жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов*: психрофильную – до 20 °С (оптимум – 15–17 °С), мезофильную – от 20 до 40 °С (оптимум – 32–35 °С) и термофильную – от 50 до 70 °С (оптимум 52–55 °С). В каждой зоне биохимические процессы осуществляются своей специфической ассоциацией микроорганизмов.

*Термофильное сбраживание* отличается от мезофильного большей интенсивностью и заканчивается примерно в 2 раза быстрее, за счет чего вдвое уменьшается необходимый объем сооружений и улучшаются санитарно-гигиенические показатели осадков, но требует почти вдвое большего расхода тепла. Поддержание мезофильных или термофильных температур требует на практике подогревания осадков, что приводит к усложнению технических решений очистных сооружений.

Температура, при которой осуществляется сбраживание осадка, также существенно влияет и на процесс газовыделения, которое значительно уменьшается в интервале температур 40–50 °С. Однако при бесконечно

продолжающемся сбраживании выход газа в расчете на единицу сухого вещества загружаемого или сброженного осадка практически одинаковый как для мезофильного, так и для термофильного режимов сбраживания, и определяется только химическим составом осадка.

При термофильном сбраживании достигается полная дегельминтизация осадка, тогда как в условиях мезофильных температур гибнет лишь 50–80 % всего количества яиц гельминтов.

На большинстве станций сбраживание осуществляется в мезофильных условиях, что даёт возможность выработки биогаза в количестве, достаточном как для подогрева метантенков, так и для получения дополнительного тепла.

Выбор режима сбраживания следует производить с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований.

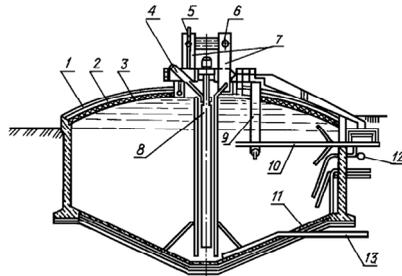
При работе метантенков контролируются показатели:

- 1) выход и состав биогаза, в котором обычно содержится 60–65 % метана, 32–35 % диоксида углерода и некоторые количества водорода, сероводорода, азота и др;
- 2) степень распада органических веществ;
- 3) содержание летучих жирных кислот, аммонийного азота и щелочности иловой воды;
- 4) влажность и зольность загружаемого и сброженного осадков;
- 5) pH.

Метантенки представляют собой герметичные вертикальные резервуары с коническим или плоским днищем, выполненные из железобетона или стали (рисунок 3.5) с изоляцией для поддержания постоянной температуры.

Рисунок 3.5 – Метантенк:

- 1 – мягкая кровля; 2 – кирпич; 3 – теплоизоляция; 4 – смотровой люк; 5, 9 – трубы для выпуска газа в атмосферу, переливания; 6 – газопровод для газового колпака; 7 – газовые колпаки; 8 – пропеллерная мешалка; 10, 13 – трубопроводы соответственно для загрузки сырого осадка, опорожнения метантенка; 11 – днище метантенка; 12 – паровой инжектор для подогрева метантенков



Уровень осадка поддерживается в узкой горловине метантенка, что позволяет повысить интенсивность газовой выделению на единицу поверхности бродящей массы и предотвратить образование плотной корки.

Корпус метантенка всегда оснащен устройствами для перемешивания и нагрева, что обеспечивает поддержание постоянной температуры. Сброженный осадок удаляется из метантенка путем откачки либо самотеком по

телескопическим трубам. Пена с поверхности также отводится самотеком по телескопическим трубам.

Форма метантенка является важным критерием проектирования. Для обеспечения соответствующего перемешивания и условий эксплуатации высота метантенка часто должна быть чуть больше его диаметра.

Формы метантенков разработаны таким образом, чтобы обеспечить максимальный рабочий объем при минимальной поверхности, сократить материалоемкость и теплопотери при строительстве и эксплуатации метантенков. Достаточно распространена (особенно в Германии) яйцевидная форма (рисунок 3.6, а), в других странах часто используются метантенки цилиндрической формы (рисунок 3.6, б) [9].

а)



б)



Рисунок 3.6 – Конструкции метантенков:  
а – яйцевидная форма; б – цилиндрическая форма

В связи с длительным временем сбраживания осадка метантенки должны иметь большой объем. Кроме самого метантенка (метантенков), для выравнивания колебаний выхода биогаза необходим газгольдер. В настоящее время разработаны типовые проекты метантенков полезным объемом 500–4000 м<sup>3</sup> и диаметром 10–20 м. Для крупных очистных станций разработаны индивидуальные проекты метантенков с полезным объемом 6000–8000 м<sup>3</sup>.

Для организации процесса сбраживания на крупных очистных сооружениях требуется примерно 25–35×30–40 м<sup>2</sup> свободного места. Метантенки могут размещаться вне помещений, однако они должны иметь изоляцию. Насосы и другое вспомогательное оборудование устанавливаются в помещениях, расположенных, как правило, под метантенками или в небольших отдельно стоящих зданиях насосной установки.

В качестве утеплителей метантенков применяются пенополиуретан, минеральная вата, стекловолно.

Для сокращения затрат на теплоизоляцию стенок метантенка применяют обваловку резервуара грунтом.

Основными конструктивными элементами метантенков, выполняющими определенные технологические функции, являются системы:

- подачи и выгрузки стабилизированного осадка;
- подогрева;
- перемешивания бродящей массы;
- сбора и отвода выделяющегося газа.

Система подачи и выгрузки осадков. Наиболее рациональной является *эксплуатация метантенков по прямоточной схеме*, при которой загрузка и выгрузка осадков происходит одновременно и непрерывно (или с минимальными перерывами). Такой режим создает благоприятные температурные условия в метантенке, так как исключается охлаждение бродящей массы вследствие залповых поступлений более холодных сырого осадка и избыточного ила, обеспечивает равномерность газовыделения в течение суток. Подача осадка может осуществляться либо через общую для всех метантенков загрузочную камеру, либо насосом непосредственно в каждый метантенк. В обоих случаях должна быть обеспечена равномерность распределения нагрузки между отдельными сооружениями и возможность ее регулирования. Осадок подают в верхнюю зону метантенка, а выгружают из самой нижней точки дна. Максимальное удаление друг от друга трубопроводов подачи и выгрузки предотвращает попадание несброженного осадка в выгружаемую массу. Кроме того, при постоянной выгрузке сброшенной массы из нижней части удается замедлить процесс накопления песка, который вместе с осадком из первичных отстойников попадает в метантенк.

Система подогрева осадков. Чтобы обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий, важно поддерживать в метантенке постоянную температуру. Колебания температуры или недостаточная изоляция метантенка снижают выход биогаза.

В метантенках тепло расходуется на подогрев загружаемого осадка до необходимой расчетной температуры, возмещение потерь тепла, уходящего через стенки, днище и перекрытие метантенка и уносимого с отводимым из метантенка газом.

Биогаз, образующийся в процессе сбраживания, в основном используется для производства электроэнергии на ТЭЦ (теплоэлектроцентралях). Одновременно вырабатываемая тепловая энергия расходуется для нагрева загружаемого осадка и обогрева корпуса метантенка. Если загружаемый сырой осадок в течение длительного периода на протяжении всего года имеет относительно низкую температуру (5–10 °С), его, как правило, предварительно нагревают в резервуаре сырого осадка. Данный резервуар, в свою очередь, нагревается трубчатыми или пластинчатыми теплообменниками и устройствами для рециркуляции осадка до необходимого диапазона мезофильных температур 35–40 °С.

Подогрев метантенков осуществляют острым паром. Пар низкого давления с температурой 110–112 °С подается во всасывающую трубу насоса при подаче и перемешивании осадка или непосредственно в метантенк через паровой инжектор. Инжекторы устанавливаются в каждом метантенке. Забирая в качестве рабочей жидкости осадок из метантенка и подавая смесь его с паром снова в метантенк, шаровой инжектор обеспечивает и подогрев осадка и частичное перемешивание бродящей массы.

Система перемешивания бродящей массы. Перемешивание бродящей массы обеспечивает ее однородность во всем объеме метантенка. При загрузке холодного осадка в верхнюю зону метантенка он как более холодный устремляется вниз. Одновременно пузырьки выделяющегося газа поднимаются вверх. В результате происходит перемешивание бродящей массы в вертикальном направлении. Если метантенк оборудован инжектором, его работа приводит к перемешиванию осадка в горизонтальной плоскости.

Однако эти процессы, сопровождающие процесс сбраживания, не могут обеспечить полного перемешивания содержимого метантенка. Для перемешивания дополнительно можно использовать:

- циркуляционные насосы, они обеспечивают рециркуляцию бродящей массы со дна в верхнюю часть метантенка (обязательным условием применения является наличие в конструкции конусного днища, что предотвращает образование мертвых зон);

- пропеллерные мешалки, устанавливаемые под уровнем осадка, в трубе, расположенной в центральной части метантенка;

- перемешивание с помощью газа, предполагающее забор газа из-под купола метантенка или из газгольдера и введение его через вертикальные трубки в метантенк. Увеличение глубины подачи газа при одинаковом его расходе повышает эффективность перемешивания.

Система сбора и отвода газа. Для сбора газа на горловине метантенка устанавливают газовые колпаки. Для транспортирования газа прокладывается специальная газовая сеть из стальных труб с усиленной коррозионной изоляцией.

В процессе сбраживания осадков выделение газа происходит неравномерно. Для поддержания постоянного давления в газовой сети на тупиковых концах ее устанавливают аккумулярующие газгольдеры. Мокрый газгольдер состоит из резервуара, заполненного водой, и колокола, перемещающегося на роликах по вертикальным направляющим. Вес колокола уравновешивается противодействием газа.

Анаэробное сбраживание применяется в основном на средних и крупных очистных сооружениях. Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах 5–15 млн евро, включая затраты на строительство ТЭЦ [9]. На очень крупных предприятиях инвестиционные затраты могут быть значи-

тельно выше, порядка 50–80 млн евро для очистных сооружений с эквивалентом численности населения более 1 000 000 жителей [9]. Срок службы механического и электрического оборудования, как правило, составляет 15–20 лет, бетонных сооружений – 30–40 лет. Установленная мощность – около 100–150 кВт, расход электроэнергии – 100–400 кВт·ч/т сухого вещества [9], что компенсируется за счет производства электроэнергии из биогаза. Часть энергии, вырабатываемой при сбраживании, расходуется на ее производство, поэтому при оценке чистой экономической выгоды необходимо учитывать энергопотребление мешалок и насосов. Для управления процессом требуются 2–3 оператора [9].

Расчет метантенков. Расход сырого осадка (по сухому веществу) из первичных отстойников,  $Q_{\text{сух}}$ , м<sup>3</sup>/сут, определяется по формуле

$$Q_{\text{сух}} = \frac{C_{\text{песк}}^{\text{в.в}} \cdot \text{Э} \cdot K}{1000 \cdot 1000 \cdot 100} Q_{\text{ср суг}}, \quad (3.14)$$

где  $C_{\text{песк}}^{\text{в.в}}$  – концентрация взвешенных веществ в сточных водах, поступающих в первичные отстойники, мг/дм<sup>3</sup>;

Э – эффект задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках, %;

K – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвеси, не улавливаемых при отборе проб для анализа, принимается равным 1,1–1,2.

Расход избыточного активного ила (биопенки), по сухому веществу, м<sup>3</sup>/сут, если не осуществляется предварительное уплотнение, рассчитывается по формуле

$$V_{\text{сух}} = \frac{P_{i \text{ max}} Q_{\text{ср суг}} n}{1000 \cdot 1000}, \quad (3.15)$$

где  $P_{i \text{ max}}$  – максимальный прирост активного ила (биопенки), мг/дм<sup>3</sup>, определяется по формуле (1.3);

n – коэффициент месячной неравномерности прироста ила (биопенки) в процессе очистки,  $n = 1,1 \dots 1,3$ .

Расход избыточного активного ила по сухому веществу  $V_{\text{сух}}$ , м<sup>3</sup>/сут, если активный ил после вторичных отстойников предварительно уплотняется, составляет

$$V_{\text{сух}} = \frac{V_{\text{ил}} \rho_{\text{ил}} (100 - P_{\text{ил}})}{100}, \quad (3.16)$$

где  $\rho_{\text{ил}}$  – плотность уплотнённого ила, г/см<sup>3</sup>, которую для практических расчётов можно принимать равной единице;

$P_{\text{ил}}$  – влажность ила после илоуплотнителей, %.

$V_{\text{ил}}$  – расход уплотненного ила, м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{ил}} = 24q_y, \quad (3.17)$$

где  $q_y$  – часовой расход уплотненного ила, м<sup>3</sup>/ч.

Расход беззольного вещества сырого осадка, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}}(100 - B_r)(100 - S_{\text{ос}})}{100 \cdot 100}. \quad (3.18)$$

Расход беззольного вещества избыточного активного ила (биопенки), м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{без}} = \frac{V_{\text{сух}}(100 - B_r)(100 - S_{\text{бп}})}{100 \cdot 100}, \quad (3.19)$$

где  $B_r$  – гигроскопическая влажность сырого осадка и избыточного активного ила, %, принимается равной 5–6 %;

$S_{\text{ос}}$ ,  $S_{\text{бп}}$  – зольность сухого вещества соответственно сырого осадка и активного ила, %, в среднем  $S_{\text{ос}}$  составляет 27–30 %,  $S_{\text{бп}}$  – 20–25 %.

Общее количество беззольного вещества, поступающего в метантенк, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{без}} + V_{\text{без}}. \quad (3.20)$$

Расход сырого осадка, м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{ос}} = \frac{Q_{\text{сух}} \cdot 100}{(100 - P_{\text{ос}})\rho_{\text{ос}}}, \quad (3.21)$$

где  $P_{\text{ос}}$  – влажность сырого осадка, %, при самотечном удалении составляет 95 %, при удалении плунжерными насосами – 93–94 %;

$\rho_{\text{ос}}$  – плотность сырого осадка, г/см<sup>3</sup>, равная  $\rho_{\text{ос}} = 1$  г/см<sup>3</sup>.

Расход избыточного активного ила (биопенки), м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{ил}} = \frac{V_{\text{сух}} \cdot 100}{(100 - P_{\text{ил}})\rho_{\text{ил}}}, \quad (3.22)$$

где  $V_{\text{сух}}$  – расход избыточного активного ила (биопенки) по сухому веществу, м<sup>3</sup>/сут;

$P_{\text{ил}}$  – влажность избыточного активного ила отделенного, во вторичных отстойниках составляет 99,2–99,6 %, биопенки – 96 %.

Общий расход смеси загружаемой в метантенк, м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}}. \quad (3.23)$$

Средняя влажность смеси, поступающей в метантенк, %,

$$P_{\text{см}} = 100 \left( 1 - \frac{Q_{\text{сух}} + V_{\text{сух}}}{V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}}} \right). \quad (3.24)$$

Зольность смеси, загружаемой в метантенк, %,

$$S_{\text{см}} = \frac{S_{\text{ос}} Q_{\text{сух}} + S_{\text{ил}} V_{\text{сух}}}{Q_{\text{сух}} + V_{\text{сух}}}. \quad (3.25)$$

Общий объем метантенков определяется в зависимости от фактической влажности осадка по формуле

$$W_{\text{общ.м}} = \frac{V_{\text{общ}}}{D_{\text{м}}} \cdot 100, \quad (3.26)$$

где  $D_{\text{м}}$  – суточная доза загрузки, %, принимаемая: для осадков городских сточных вод – по таблице 3.5, осадков производственных сточных вод – на основании экспериментальных данных.

Схема метантенка и компоновочный план приведены на рисунке 3.7. Метантенки принимаются по типовому проекту (таблица 3.6).

Количество метантенков

$$n = \frac{W_{\text{общ.м}}}{W_{\text{м}}}, \quad (3.27)$$

где  $W_{\text{м}}$  – полезный объем одного метантенка, м<sup>3</sup>.

Количество метантенков должно быть не менее двух, причем оба рабочие.

Распад беззольного вещества загружаемого осадка  $R_r$ , %, в зависимости от дозы загрузки определяется по формуле

$$R_r = R_{\text{lim}} - K_r D_{\text{м}}, \quad (3.28)$$

где  $R_{\text{lim}}$  – максимально возможное сбраживание беззольного вещества загружаемого осадка, %;

$K_r$  – коэффициент, зависящий от влажности осадка, принимается по таблице 3,7;

$D_{\text{м}}$  – доза загружаемого осадка, %.

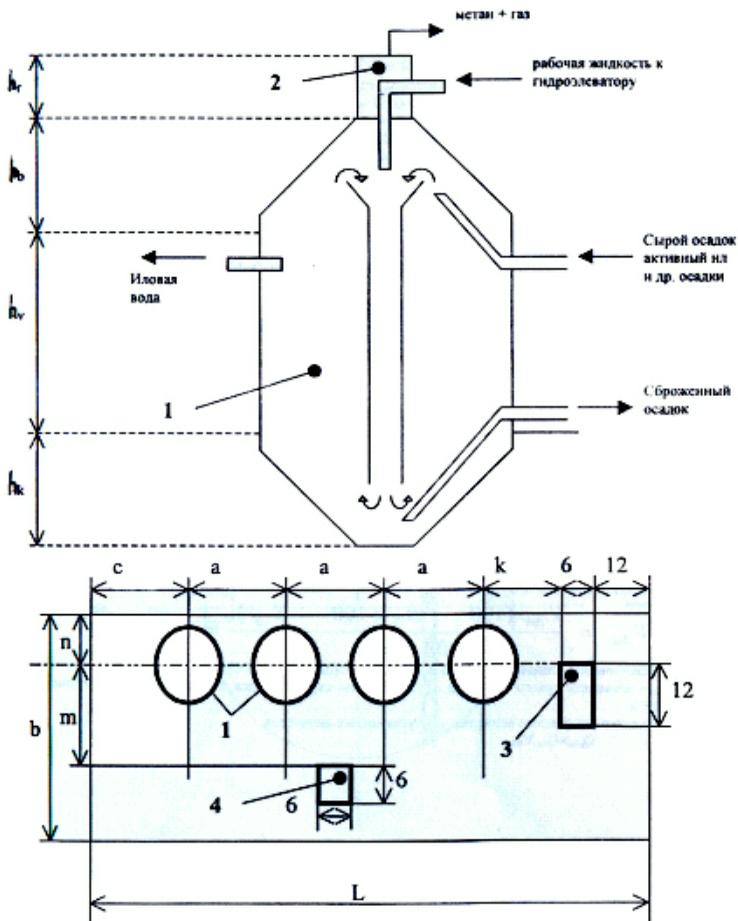


Рисунок 3.7 – Схема метантенка и компоновочный план

1 – резервуар метантенка; 2 – газовый колпак; 3 – насосная станция; 4 – газовый киоск

Таблица 3.5 – Суточная доза загрузки осадка в метантенк [7]

Режим сбраживания	Суточная доза загружаемого осадка $D_m$ , %, при влажности загружаемого осадка, %, не более				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	7	8	8	9	10
Термофильный	14	16	17	18	19

Таблица 3.6 – Основные типоразмеры метантенков

Типовой проект	Диаметр, м	Полезный объем, м <sup>3</sup>	Высота, м				Отметка уровня осадка $Z_r$ , м
			верхней конической части $h_b$	цилиндрической части $h_d$	нижней конической части $h_n$	горловины $h_r$	
902-2-227	12,5	1000	1,9	6,5	2,1	1,0	8,66
902-2-208	15,0	1600	2,3	7,3	2,3	1,4	9,82
902-2-229	17,5	2500	2,5	8,6	3,0	1,5	11,26
902-2-230	20,0	4000	2,9	10,6	3,5	1,5	13,66

Окончание таблицы 3.6

Типовой проект	Компоновочные размеры, м							Строительный объем, м <sup>3</sup>	
	$a$	$c$	$k$	$m$	$n$	$b$	$L$	здания обслуживания	киоска газовой смеси
902-2-227	21	12	27	27	25	65	125	625	100
902-2-208	24	13	28	28	25	65	132	2035	112
902-2-229	27	14	29	29	24	64	147	2094	136
902-2-230	29	15	30	30	29	70	155	2520	174

Таблица 3.7 – Значение коэффициента  $K_r$  [7].

Режим сбраживания	Значение коэффициента $K_r$ при влажности загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	1,050	0,890	0,72	0,56	0,40
Термофильный	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Максимально возможное сбраживание беззольного вещества загружаемого осадка  $R_{lim}$ , %, определяется в зависимости от химического состава:

$$R_{lim} = (0,92C_{fat} + 0,62C_{gl} + 0,34C_{prt}) \cdot 100, \quad (3.29)$$

где  $C_{fat}$ ,  $C_{gl}$ ,  $C_{prt}$  – соответственно содержание жиров, углеводов и белков, г/г беззольного вещества осадка.

При отсутствии данных о химическом составе осадка величину  $R_{lim}$  допускается принимать: для осадков из первичных отстойников – 53 %; для избыточного активного ила – 44 %; для смеси осадка с активным илом – по среднеарифметическому соотношению смешиваемых компонентов по беззольному веществу:

$$R_{lim} = \frac{53Q_{без} + 44V_{без}}{Q_{без} + V_{без}}. \quad (3.30)$$

Выход газа на 1 м<sup>3</sup> загружаемого осадка, м<sup>3</sup>,

$$Q_{\text{газ}} = \frac{R_r (100 - P_{\text{см}})(100 - S_{\text{см}})}{1000\rho}, \quad (3.31)$$

где  $R_r$  – распад беззольного вещества, %;

$P_{\text{см}}$  – влажность смеси, загружаемой в метантенк, %;

$S_{\text{см}}$  – зольность смеси, загружаемой в метантенк, %;

$\rho$  – объемный вес газа, кг/м<sup>3</sup>, согласно [ТКП п 12.6.9]  $\rho = 1 \text{ кг/м}^3$ .

Общий выход газа м<sup>3</sup>/сут,

$$\Gamma_{\text{общ}} = Q_{\text{газ}} V_{\text{общ}}. \quad (3.32)$$

Влажность стабилизированного осадка,  $P_{\text{ст}}$ , %

$$P_{\text{ст}} = 100 - \frac{(100 - P_{\text{см}})(100 - S_{\text{см}})(100 - R_r)}{10000}, \quad (3.33)$$

Для регулирования давления и приема газа из метантенков применяются мокрые газгольдеры, вместимость которых рассчитывается на 2–4-часовой выход газа. Давление газа под колпаком принимается равным 1,5–2,5 кПа.

Вместимость газгольдеров, м<sup>3</sup>,

$$V_{\text{газ}} = \frac{\Gamma_{\text{общ}} T}{24}. \quad (3.34)$$

Типовые газгольдеры принимаются по таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Основные параметры мокрых газгольдеров

Вместимость газгольдера, м <sup>3</sup>	Внутренний диаметр, мм		Высота, мм			Подъем купола, мм
	резервуара	колокола	газгольдера	резервуара	колокола	
100	7400	6600	6210	3450	3240	443
300	9300	8500	11150	5920	5710	745
600	11480	10680	14030	7390	7140	708
1000	14500	13700	14030	7930	7140	1178
3000	21050	20250	18850	9800	9550	1337
6000	26900	26100	22600	11750	11450	2248

Необходимое количество тепла для обогрева метантенков, кДж/сут,

$$Q_{\text{тепла}} = V_{\text{общ}} (T - T_0) c, \quad (3.35)$$

где  $T$  – температура режима сбраживания, °С;

$T_0$  – начальная температура загружаемого осадка, °С;  
 $c$  – удельная теплоемкость осадка, кДж/м<sup>3</sup>,  $c = 5,44$  кДж/м<sup>3</sup>.  
 Необходимое количество газа для обогрева метантенков, м<sup>3</sup>/сут,

$$\Gamma_{\text{обогрев}} = \frac{Q_{\text{тепла}}}{q_{\text{газ}} k}, \quad (3.36)$$

где  $q_{\text{газ}}$  – теплотворная способность газов метантенков,  $q_{\text{газ}} = 20900$  кДж/м<sup>3</sup>;  
 $k$  – коэффициент,  $k = 0,7$ .

Количество пара, подаваемого в метантенк, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_{\text{пара}} = \frac{Q_{\text{тепла}}}{q_{\text{пара}}}, \quad (3.37)$$

где  $q_{\text{пара}}$  – теплотворная способность пара,  $q_{\text{газ}} = 2300$  кДж/м<sup>3</sup>;

Расход пара на 1 м<sup>3</sup> осадка

$$Q'_{\text{пара}} = \frac{Q_{\text{пара}}}{V_{\text{общ}}}. \quad (3.38)$$

Сопоставляется выход газа из метантенков ( $\Gamma_{\text{общ}}$ , м<sup>3</sup>/сут) и необходимое количество газа для обогрева метантенков ( $\Gamma_{\text{обогрев}}$ , м<sup>3</sup>/сут) и устанавливается, необходимо добавлять газ или нет.

### 3.5 Аэробные стабилизаторы

В качестве альтернативы анаэробному сбраживанию осадок может стабилизироваться путем длительной аэрации, при которой летучие вещества разрушаются биологическим способом. Долгосрочная (длительная) аэрация проходит в аэротенках и поэтому называется «одновременным аэробным сбраживанием». Разработаны также методы аэробной стабилизации при более высоких температурах в отдельных резервуарах. В результате аэробного сбраживания получается осадок, который можно утилизировать различными способами.

**Аэробная стабилизация осадков сточных вод** – процесс окисления эндогенных и экзогенных органических субстратов в аэробных условиях. В отличие от анаэробного сбраживания аэробная стабилизация протекает в одну стадию:



с последующим окислением  $NH_3$  до  $NO_2$ .

Аэробной стабилизации могут подвергаться неуплотненный и уплотненный избыточный активный ил, смесь активного ила с осадком первичных отстойников. При стабилизации только активного ила процесс можно рассматривать как завершающую ступень очистки сточных вод, когда при минимуме растворенных питательных веществ происходит самоокисление клеточного вещества микроорганизмов.

Для процесса аэробной стабилизации необходимы постоянная мезофильная или термофильная температура и подача достаточного количества кислорода.

Продолжительность стабилизации ила связана с его возрастом. Чем больше возраст ила, тем короче период стабилизации.

При стабилизации смеси ила с осадком происходит выделение ферментов, которые активизируют процесс.

Степень распада органического вещества и продолжительность процесса зависят от следующих факторов:

- соотношения количеств сырого осадка и активного ила;
- концентрации органических веществ;
- интенсивности аэрации;
- температуры и пр.

Процесс аэробной стабилизации обычно происходит при температуре от 10 до 42 °С и затухает при температуре менее 8 °С. Степень распада органических веществ изменяется в среднем от 10 до 50 %, при этом жиры распадаются на 65–75 %, белки – на 20–30 %, а углеводы практически не распадаются. В процессе аэробной стабилизации при мезофильных температурах наблюдается снижение содержания кишечной палочки и других патогенных бактерий и вирусов на 70–90 %, однако при этом яйца гельминтов не погибают.

Продолжительность процесса при температуре 20 °С принимается:

- для неуплотненного активного ила – 2–5 сут;
- смеси неуплотненного ила и осадка из первичных отстойников – 6–7 сут;
- смеси уплотненного ила и осадка – 8–12 сут.

При более высокой температуре осадка продолжительность аэробной стабилизации следует уменьшать, а при меньшей – увеличивать. При изменении температуры на 10 °С продолжительность стабилизации соответственно изменяется в 2–2,2 раза [7].

Удельный расход воздуха следует принимать 1–2 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>3</sup> объема стабилизатора при интенсивности аэрации не менее 6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

Термофильная стабилизация по сравнению с мезофильной обладает следующими преимуществами:

- увеличивается глубина разложения органического вещества;
- большая скорость процесса;
- снижаются объемы сооружений;

- улучшаются седиментационные и фильтрационные характеристики;
- наблюдается стерильность обработанного осадка, гибнут семена сорняков.

Необходимый кислородный режим может обеспечиваться только механическими аэраторами. При этом расход электроэнергии возрастает в 2-3 раза, что является недостатком.

Аэробная стабилизация осадков проводится обычно в сооружениях типа *аэротенков глубиной 3-5 м*. Использование других емкостей, построенных на станциях аэрации, например переоборудованных отстойников, уплотнителей и неиспользуемых метантенков, может привести к ухудшению эффективности процесса и увеличению расхода электроэнергии.

Процесс аэробной стабилизации может осуществляться по нескольким схемам (рисунок 3.7).

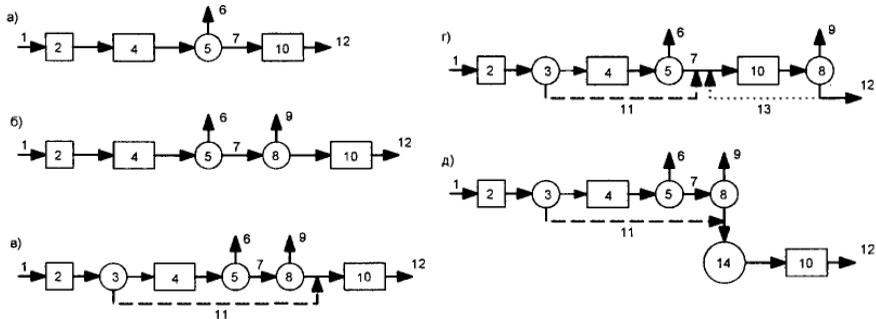


Рисунок 3.7 – Схемы аэробной стабилизации:

- 1 – подача сточных вод; 2 – решетки и песколовки; 3 – первичные отстойники; 4 – аэротенки;
- 5 – вторичные отстойники; 6 – очищенные сточные воды; 7 – избыточный активный ил;
- 8 – илоуплотнители; 9 – иловая вода; 10 – стабилизатор; 11 – осадок из первичного отстойника;
- 12 – стабилизированный осадок; 13 – циркуляция уплотненного осадка; 14 – метантенк

Простейшей является схема, применяемая на очистных сооружениях при отсутствии первичных отстойников. При этом избыточный активный ил поступает в стабилизатор непосредственно из вторичных отстойников или после илоуплотнителей (см. рисунок 3.7, а, б). Возможна совместная стабилизация осадка из первичных отстойников с уплотненным активным илом (схема "в"). По схеме "г" в стабилизатор подают осадок из первичных отстойников и неуплотненный активный ил. Стабилизированный осадок направляется в илоуплотнитель. После уплотнения основная масса осадка возвращается в стабилизатор (рециркуляция), а меньшая часть направляется на дальнейшую обработку. По этой схеме осадок промывается большим количеством воды. Хотя время пребывания осадка в стабилизаторе сокращается, но существенно улучшается его водоотдача.

Перспективными являются схемы анаэробно-аэробной обработки смеси осадка и ила (см. рисунок 3.7, д). Анаэробный реактор работает как обычный одноступенчатый метантенк, в котором при увеличении продолжительности сбраживания достигается глубокая стабилизация органического вещества с высоким выходом газа. В этом случае аэробный реактор рассчитывают, исходя из периода и температуры, необходимых только для улучшения водоотдачи стабилизированного осадка.

При более коротком периоде анаэробной стадии происходит неполное сбраживание с потерей 15–20 % биогаза. Поэтому продолжительность аэробного процесса должна быть увеличена для повышения необходимой степени стабилизации органического вещества.

Мезофильное сбраживание в течение 6 суток с последующей аэробной стабилизацией в течение 3–4 суток позволяет значительно улучшить водоотдающие свойства осадка.

При сочетании термофильного сбраживания с аэробной минерализацией достигается обеззараживание осадка и хорошие показатели влагоотдачи.

Контроль за процессом стабилизации проводится по скорости потребления кислорода и ферментативной (дегидрогеназной) активности ила, которые снижаются до определенной величины, после чего изменяются незначительно. К моменту окончания процесса окисления экзо- и эндогенных субстратов удельное сопротивление фильтрации принимает минимальное значение, которое при продолжении аэрации начинает снова возрастать. Это обуславливает нецелесообразность проведения неконтролируемого продолжения процесса.

Аэробная стабилизация осадков обеспечивает получение биологически стабильных продуктов, хорошие показатели влагоотдачи, простоту в эксплуатации и низкие строительные стоимости сооружений.

Недостатком аэробного сбраживания являются высокие затраты на интенсивную аэрацию, требующую значительного энергопотребления, и отсутствие производства биогаза, что ограничивает целесообразность использования этого процесса на очистных сооружениях производительностью более 50–100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Расчет аэробных стабилизаторов. Время стабилизации смеси  $T$ , ч, при расчётной температуре ориентировочно определяется с учетом рекомендаций подразд. 3.5 или по формуле

$$T = [20,9 + 9,22 \lg(B + 1)] \cdot 1,08^{(20-t)}, \quad (3.39)$$

где  $t$  – расчётная температура смеси;

$B$  – отношение расходов сырого осадка и уплотнённого ила по сухому веществу,

$$B = \frac{Q_{\text{сух}}}{V_{\text{сух}}}; \quad (3.40)$$

$Q_{\text{сух}}$  – расход сырого осадка (по сухому веществу) из первичных отстойников, м<sup>3</sup>/сут,

$V_{\text{сух}}$  – расход избыточного активного ила (по сухому веществу) м<sup>3</sup>/сут.

Расход сырого осадка (по сухому веществу) из первичных отстойников

$$Q_{\text{сух}} = \frac{C_{\text{песк}}^{\text{в.в}} \text{Э} K}{1000 \cdot 1000 \cdot 100} Q_{\text{ср сут}}, \quad (3.41)$$

где  $C_{\text{песк}}^{\text{в.в}}$  – концентрация взвешенных веществ в сточных водах, поступающих в первичные отстойники, мг/дм<sup>3</sup>;

Э – эффект задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках, %;

K – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвеси, не улавливаемых при отборе проб для анализа, принимается равным 1,1–1,2.

Расход избыточного активного ила (биошлака), по сухому веществу, м<sup>3</sup>/сут, если не осуществляется предварительное уплотнение, определяется по формуле

$$V_{\text{сух}} = \frac{P_{i \text{ макс}} Q_{\text{ср сут}} n}{1000 \cdot 1000}, \quad (3.42)$$

где  $P_{i \text{ макс}}$  – максимальный прирост активного ила (биошлака), мг/дм<sup>3</sup>, определяется по формуле (44) [4];

n – коэффициент месячной неравномерности прироста ила (биошлака) в процессе очистки, n = 1, 1...1,3.

Расход избыточного активного ила по сухому веществу, м<sup>3</sup>/сут, если активный ил после вторичных отстойников предварительно уплотняется составляет

$$V_{\text{сух}} = \frac{V_{\text{ил}} P_{\text{ил}} (100 - P_{\text{ил}})}{100}, \quad (3.43)$$

где  $V_{\text{ил}}$  – расход уплотненного ила, м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{ил}} = 24q_y; \quad (3.44)$$

$q_y$  – часовой расход уплотненного ила, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho_{\text{ил}}$  – плотность уплотнённого ила, г/см<sup>3</sup>, которую для практических расчётов можно принимать равной единице;

$P_{\text{ил}}$  – влажность ила после илоуплотнителей, %.

Необходимый объем стабилизатора, м<sup>3</sup>,

$$W = TV_{\text{общ}}, \quad (3.45)$$

где  $V_{\text{общ}}$  – расход смеси сырого осадка и активного ила (биопенки), поступающей на стабилизацию, м<sup>3</sup>/сут.

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}}, \quad (3.46)$$

где  $V_{\text{ос}}$  – расход сырого осадка, м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{ос}} = \frac{Q_{\text{сух}} 100}{(100 - P_{\text{ос}}) \rho_{\text{ос}}},$$

$P_{\text{ос}}$  – влажность сырого осадка, %, при самотечном удалении составляет 95 %, при удалении плунжерными насосами – 93–94 %;

$\rho_{\text{ос}}$  – плотность сырого осадка, г/см<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{ос}} = 1$  г/см<sup>3</sup>.

$V_{\text{ил}}$  – расход избыточного активного ила (биопенки), м<sup>3</sup>/сут,

$$V_{\text{ил}} = \frac{V_{\text{сух}} \cdot 100}{(100 - P_{\text{ил}}) \rho_{\text{ил}}}; \quad (3.47)$$

$V_{\text{сух}}$  – расход избыточного активного ила (биопенки), по сухому веществу, м<sup>3</sup>/сут;

$P_{\text{ил}}$  – влажность избыточного активного ила отделенного во вторичных отстойниках; составляет 99,2–99,6 %, биопенки – 96 %.

В качестве стабилизаторов применяются азротенки-вытеснители коридорного типа.

Длина секции стабилизатора, м, составляет

$$L = \frac{W}{N_{\text{сек}} n_{\text{кор}} bh}, \quad (3.48)$$

где  $N_{\text{сек}}$  – количество секций, шт;

$n_{\text{кор}}$  – количество коридоров, шт;

$b$  – ширина коридора, м;

$h$  – глубина стабилизатора, м.

Удельный расход воздуха, подаваемого в стабилизатор, м<sup>3</sup>/кг,

$$D = \frac{1000q_0}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C)}, \quad (3.49)$$

где  $q_0$  – удельный расход кислорода, кг/кг беззольного вещества;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий тип аэратора, принимается по ТКП [7];

$K_2$  – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора, принимается по ТКП [7];

$K_3$  – коэффициент, учитывающий отношение скорости переноса кислорода в иловой смеси к скорости переноса в чистой воде, принимается по таблице 16 [4];

$K_T$  – коэффициент, учитывающий температуру смеси,

$$K_T = 1 + 0,02(T_{\text{см}} - 20), \quad (3.50)$$

$T_{\text{см}}$  – средняя температура смеси в летнее время, °С;

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

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T; \quad (3.51)$$

$C_T$  – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и давления, мг/дм<sup>3</sup>, принимается по таблице 14 [5];

$h_a$  – глубина погружения аэратора, м ( $h_a = H_{\text{аэр}} - 0,3$ ).

$C$  – средняя концентрация кислорода в стабилизаторе, мг/дм<sup>3</sup>, принимается  $C = 1...2$  мг/дм<sup>3</sup>.

Удельный расход кислорода  $q_0$ , кг/кг беззольного вещества, для активного ила составляет 0,2–0,3; для сырого осадка – 1,0–1,2; для смеси активного ила и сырого осадка определяется по формуле

$$q_0^{\text{см}} = \frac{q_{\text{и}} + q_{\text{ос}} B_1}{1 + B_1}, \quad (3.52)$$

где  $q_{\text{и}}$  – удельный расход кислорода для активного ила, кг/кг беззольного вещества;

$q_{\text{ос}}$  – удельный расход кислорода для сырого осадка, кг/кг беззольного вещества;

$B_1$  – отношение количества сырого осадка к активному илу (био пленке) по беззольному веществу,

$$B_1 = \frac{Q_{\text{без}}}{V_{\text{без}}}; \quad (3.53)$$

$Q_{\text{без}}$  – расход беззольного вещества сырого осадка, т/сут,

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}}(100 - B_r)(100 - S_{\text{ос}})}{100 \cdot 100}; \quad (3.54)$$

$V_{\text{без}}$  – расход беззольного вещества избыточного активного ила (био пленки), т/сут,

$$V_{\text{без}} = \frac{V_{\text{сух}}(100 - B_r)(100 - S_{\text{бп}})}{100 \cdot 100}; \quad (3.55)$$

$B_r$  – гигроскопическая влажность сырого осадка и избыточного активного ила, %, принимается равной 5–6 %;

$S_{\text{ос}}, S_{\text{бп}}$  – зольность сухого вещества соответственно сырого осадка и активного ила, %, в среднем  $S_{\text{ос}}$  составляет 27–30 %,  $S_{\text{бп}}$  – 20–25 %.

Часовой расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч,

$$V_{\text{в}} = \frac{D(Q_{\text{без}} + V_{\text{без}}) \cdot 1000}{24}. \quad (3.56)$$

Влажность стабилизированного осадка, %,

$$P_{\text{ст}} = 100 - \frac{(100 - P_{\text{см}})(100 - S_{\text{см}})(100 - y)}{10000}, \quad (3.57)$$

где  $y$  – расход беззольного вещества в процессе стабилизации, %, принимается равным 20–40 %;

$P_{\text{см}}, S_{\text{см}}$  – соответственно влажность и зольность смеси сырого осадка и активного ила (био пленки), поступающей в стабилизатор, %,

$$P_{\text{см}} = 100 \left( 1 - \frac{Q_{\text{сух}} + V_{\text{сух}}}{V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}}} \right); \quad (3.58)$$

$$S_{\text{см}} = \frac{S_{\text{ос}} Q_{\text{сух}} + S_{\text{ил}} V_{\text{сух}}}{Q_{\text{сух}} + V_{\text{сух}}}. \quad (3.59)$$

Уплотнение аэробно стабилизированного осадка необходимо предусматривать или в отдельно стоящих илоуплотнителях, или в специально выделенной зоне внутри стабилизатора в течение не более 5 ч. Влажность уплотненного осадка должна быть 96,5–98,5 %.

## 4 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

### 4.1 Обезвоживание осадка из песколовок

Количество песка, задерживаемого в песколовках, для бытовых сточных вод составляет 0,02 л/(сут-чел), влажность песка – 60 %, объемный вес – 1,5 т/м<sup>3</sup>.

Откачка накопленного в бункерах песколовок осадка производится:

- песковыми насосами;
- гидроэлеваторами;
- шнековыми подъемниками;
- эрлифтами.

Откаченный осадок (*пескопульпа*) имеет большую влажность – 98–99 %, что вызывает необходимость его обезвоживания.

Для обезвоживания и подсушивания осадка предусматриваются *песковые площадки* (рисунок 4.1) и *песковые бункеры* (рисунок 4.2).

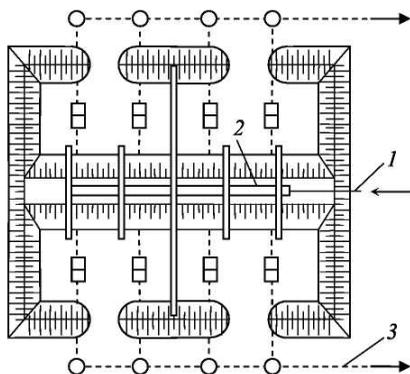


Рисунок 4.1 – Песковая площадка:  
1 – пескопровод от песколовок; 2 – разводящий лоток; 3 – отвод дренажной воды

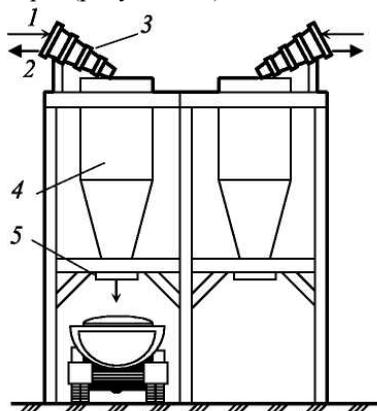


Рисунок 4.2 – Бункеры для обезвоживания и хранения песка:

- 1 – подача пескопульпы; 2 – отвод воды;
- 3 – гидроциклон; 4 – бункер; 5 – задвижка для выгрузки песка

Песковые площадки представляют собой карты с ограждающими валиками высотой 1–2 м, оборудованные шахтными водосбросами для отвода отстоявшейся воды. Размеры площадок принимаются из условия нагрузки на них не более 3м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год). Количество площадок – не менее двух.

Более рациональный метод обработки осадка из песколовок – отмывка, обезвоживание и подсушка песка с последующим использованием его в строительстве. Для этого можно использовать специальные *песковые бункеры*

ры, приспособленные для последующей погрузки песка в автотранспорт. Бункеры рассчитываются на 1,5–5суточное хранение песка. Для повышения эффективности отмывки песка применяют напорные гидроциклоны диаметром 300 мм.

Дренажная вода из бункеров и площадок возвращается в канал перед песколовками.

## 4.2 Иловые площадки

**Иловые площадки** являются одними из первых сооружений обработки осадка сточных вод. Они предназначены для естественного обезвоживания осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточной воды. Являются самым распространенным методом обезвоживания осадка. В настоящее время на иловых площадках обрабатывается 90 % всего осадка.

*Преимущества:* простота инженерного обеспечения, легкость в эксплуатации.

*Недостаток:* в большей степени, чем другие сооружения, зависят от климатических и природных факторов.

В зависимости от степени использования природных процессов иловые площадки разделяются на площадки естественного и интенсивного обезвоживания и сушки.

На *площадках естественного обезвоживания* осадок обезвоживается в процессе уплотнения и последующего отвода иловой воды, а также сушки. Они состоят из карт, окруженных со всех сторон валиками (рисунок 4.3). Размеры карт и число выпусков определяют, исходя из влажности осадка, дальности его разлива и способа уборки после подсыхания.

В соответствии с рекомендациями [7] иловые площадки допускается применять для обезвоживания осадка при производительности очистных сооружений до 25000 м<sup>3</sup>/сут. При большей производительности следует предусматривать сооружения по механическому обезвоживанию осадка. При производительности очистных сооружений 25000 м<sup>3</sup>/сут и более иловые площадки допускается предусматривать в качестве резервных сооружений для их использования в случае выхода из строя сооружений по механическому обезвоживанию осадка.

Иловые площадки, как правило, следует проектировать на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем [7]. Допускается проектировать каскадные иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды, площадки-уплотнители.

При соответствующем обосновании допускается проектировать иловые площадки на естественном основании с дренажем при благоприятных геологических и гидрогеологических условиях и залегании грунтовых вод на

глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и только в тех случаях, когда допускается фильтрация иловых вод в грунт. При меньшей глубине залегания грунтовых вод следует предусматривать понижение их уровня или применять иловые площадки на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем.

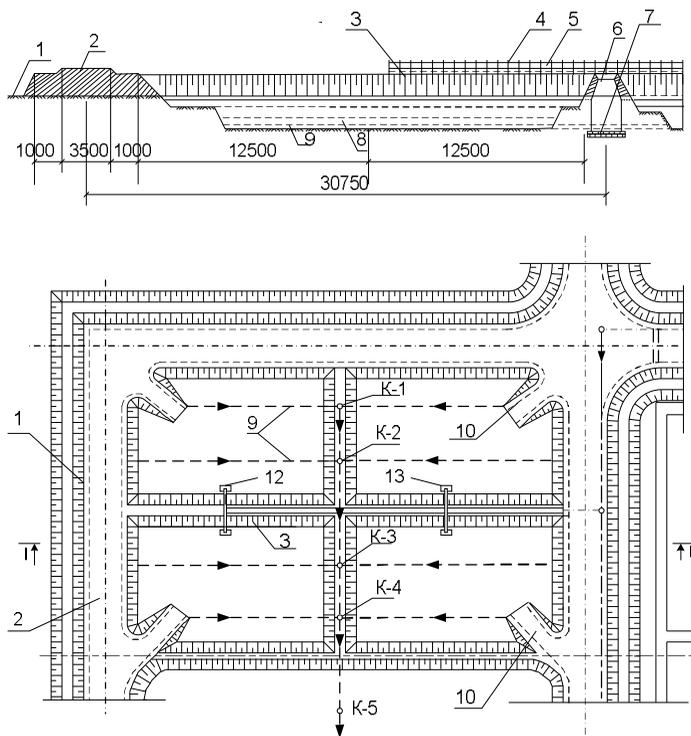


Рисунок 4.3 – Иловые площадки (план, разрез 1-1):

1 – ювет оградительной канавы; 2 – дорога; 3 – сливной лоток; 4 – бруски, поддерживающие илоразводящий лоток; 5 – илоразводящий лоток; 6 – дренажный колодец; 7 – сборная дренажная труба; 8 – дренажный слой; 9 – дренажные трубы; 10 – съезд на карту; 11 – дренажная канава; 12 – шиберы; 13 – деревянный щит под сливным лотком; К-1; К-2; К-3; К-4; К-5 – колодцы

**При проектировании иловых площадок следует принимать [7]:**

- нагрузку осадка – по таблице 4.1;
- конструкцию иловых площадок – в зависимости от гидрогеологических и климатических условий, рельефа местности;
- число карт – не менее четырех;
- рабочую глубину карт – 0,7–1,0 м;

- высоту оградительных валиков – на 0,3 м выше рабочего уровня;
- ширину валиков поверху – не менее 0,7 м, при использовании механизмов для ремонта земляных валиков – 1,8–2,0 м;
- уклон дна разводящих труб или лотков – по расчету, но не менее 0,01.

При проектировании *иловых площадок с отстаиванием и поверхностным отводом иловой воды* следует принимать:

- число каскадов – от 4 до 7;
- число карт в каждом каскаде – от 4 до 8;
- полезную площадь одной карты – от 0,25 до 2 га;
- ширину карт – от 30 до 100 м (при уклонах местности 0,004–0,08), от 50 до 100 м (при уклонах 0,01–0,04), от 60 до 100 м (при уклонах 0,01 и менее);
- длину карт при уклонах свыше 0,04 – от 80 до 100 м, при уклонах 0,01 и менее – от 100 до 250 м, отношение ширины к длине – от 1:2 до 1:2,5;
- высоту оградительных валиков и насыпей для дорог – до 2,5 м;
- рабочую глубину карт – на 0,3 м менее высоты оградительных валиков;
- напуски осадка: при 4 картах в каскаде – на 2 первые карты, при 7–8 картах в каскаде – на 3–4 первые карты;
- перепуски иловой воды между картами – в шахматном порядке;
- количество иловой воды от – 30 до 50 % от количества обезвоживаемого осадка.

При проектировании *иловых площадок с вертикальным дренажем* следует принимать:

- расстояние между дренажными вертикальными колодцами – 20–40 м;
- высоту дренажных вертикальных колоцев – 1,5–2,0 м;
- высоту оградительных валиков и насыпей для дорог – до 2,3 м;
- рабочую глубину – 1,2–1,7 м, при этом рабочая глубина должна быть на 0,3 м меньше высоты дренажных вертикальных колоцев;
- диаметр зерен фильтрующей загрузки – 10–50 мм;
- слой фильтрующей загрузки от стенки колодца – 250–300 мм.

Ограждающие стенки фильтрационного колодца следует выполнять из металлических сеток. Параметры сетки принимать исходя из обеспечения прочности конструкции при режиме фильтрации и при выгрузке осадка из иловой площадки.

При проектировании *площадок-уплотнителей* следует принимать:

- ширину карт – 9–18 м;
- расстояние между выпусками иловой воды – не более 18 м;
- устройство пандусов для возможности механизированной уборки высушенного осадка.

Искусственное дренирующее основание иловых площадок должно составлять не менее 10 % площади карты. Конструкцию и размещение дре-

нажных устройств, и размеры площадок следует принимать с учетом механизированной уборки осадка.

Твердое покрытие иловых площадок необходимо устраивать из двух слоев асфальта толщиной по 0,015–0,025 м по щебеночно-песчаной подготовке толщиной 0,1 м, асфальтобетонное или бетонное – в зависимости от типа механизмов, применяемых для уборки осадка.

Иловая вода с иловых площадок должна отводиться на очистные сооружения, при этом сооружения рассчитываются с учетом дополнительных загрязняющих веществ и количества иловой воды. Дополнительные количества загрязняющих веществ от иловой воды следует принимать: при сушке сброженных осадков – по взвешенным веществам – 1000–2000 мг/дм<sup>3</sup>, по БПК<sub>5</sub> – 700–1000 мг/дм<sup>3</sup> (большие значения – для площадок-уплотнителей, меньшие – для других типов иловых площадок) [7].

Ил подводится к площадкам и месту выгрузки по трубам или лоткам, укладываемым с уклоном 0,01–0,03. Расстояние между выпусками в зависимости от размеров карт принимается от 10 до 40–50 м. Дренаж для отвода профильтровавшейся воды устраивается обычно из керамиковых неглазурованных труб, укладываемых на расстоянии 4–10 м друг от друга, с уклоном дрен 0,0025–0,003. Глубина заложения дренажа в начальных точках должна быть не менее 1,0–1,2 м.

На иловых площадках должны быть предусмотрены дороги со съездами на карты для автотранспорта и средств механизации с целью обеспечения механизированной уборки, погрузки и транспортирования подсушенного осадка.

Полезная площадь иловых площадок, м<sup>2</sup>,

$$F_{\text{ил}} = \frac{Q_{\text{г}}}{kn}. \quad (4.1)$$

где  $Q_{\text{г}}$  – количество осадка, подаваемого на иловые площадки, м<sup>3</sup>/год;

$k$  – нагрузка осадка на иловые площадки, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>·год, принимается по таблице 4.1;

$n$  – климатический коэффициент, для Республики Беларусь  $n = 0,9$ .

При расчете аварийных иловых площадок количество осадка, подаваемого на площадки, принимается равным 20 % годового количества осадков, подаваемых на обезвоживание.

Размеры карт на искусственном основании принимаются в зависимости от местных условий: от 20–30 м<sup>2</sup> – для мелких станций, до 0,2–0,3 га – для крупных. На малых очистных станциях в целях удобства эксплуатации ширину отдельных карт назначают не более 10 м при одностороннем напуске, для больших станций эта величина может быть увеличена до 35–40 м. Полезная площадь карт увеличивается на 20–40 % для устройства ограждающих валиков.

Общая строительная глубина карты

$$H = H_1 + H_2, \quad (4.2)$$

где  $H_1$  – рабочая глубина карты, м;

$H_2$  – высота оградительных валиков, м.

Таблица 4.1 – Рекомендуемая нагрузка на иловые площадки [7]

Характеристика осадка	Иловые площадки					
	на естественном основании	на естественном основании с дренажем	на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем	каскадные с отставанием и поверхностным удалением иловой воды на естественном основании	площадки-уплотнители	на естественном основании с вертикальным дренажем
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,5
То же, в термофильных условиях	0,8	1,0	1,5	1,0	1,0	1,8
Сброженный осадок из первичных отстойников и осадок из двухъярусных отстойников	2,0	2,3	2,5	2,0	2,3	3,0
Стабилизированная смесь активного ила и осадка из первичных отстойников или стабилизированный активный ил	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,5

### 4.3 Механическое обезвоживание осадков

Для больших городов с развитой инфраструктурой использование процессов естественной сушки осадков нерационально как с экономической, так и экологической точек зрения.

**Обезвоживание** – относительно простой процесс, направленный на увеличение содержания сухого вещества в осадке с помощью различного оборудования. Для образования хлопьев избыточного ила в блоке обезвоживания необходимо использовать флокулянт. Иногда в целях повышения эффективности флокулянта (полимера) и сокращения его расхода при обезвоживании к осадку также добавляют коагулянты, такие как соли железа или алюминия. Ведутся исследования по разработке безреагентных методов обезвоживания, однако получаемый эффект и степень надежности этих методов еще недостаточно высоки. После достижения максимальной степени обезвоживания оставшуюся в осадке связанную на клеточном уровне воду можно удалить лишь с помощью сушки [9].

Существуют различные методы и аппараты, применяемые для обезвоживания осадков. В зависимости от вида механического воздействия на структуру осадков обезвоживание производится:

- под разряжением (вакуум фильтры);
- под давлением (фильтр-прессы);
- в центробежном поле (центрифуги).

В настоящее время наиболее популярными методами обезвоживания на городских очистных сооружениях являются центрифуги и ленточные фильтр-прессы, что связано с их надежностью в работе и экономической эффективностью. Камерные фильтр-прессы дороже других типов фильтр-прессов, поэтому используются на более крупных очистных сооружениях.

#### 4.3.1 Подготовка осадка для механического обезвоживания

Осадки, образующиеся на очистных сооружениях населенных мест, характеризуются весьма низкими показателями водоотдачи, что затрудняет применение интенсивных процессов для их обезвоживания.

Процессы подготовки осадков к обезвоживанию называют **кондиционированием**.

Первой стадией подготовки осадка к обезвоживанию является его промывка (рисунок 4.4). Она применяется только для *сброженных осадков*. В результате промывки из сброженного осадка удаляются коллоидные частицы и мелкая взвесь. Для осадков, сброженных в разных режимах, параметры промывки различаются. Промывка производится очищенной сточной водой.

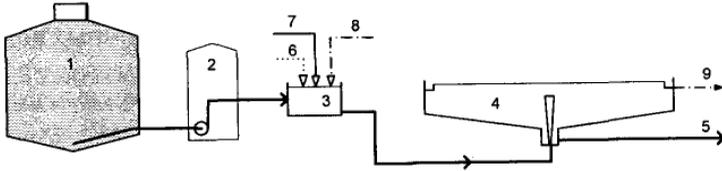


Рисунок 4.4 – Схема кондиционирования сброженного осадка с промывкой и уплотнением:

1 – метантенк; 2 – насосная станция; 3 – промывная камера; 4 – уплотнитель; 5 – уплотненный осадок на механическое обезвоживание; 6 – подача сжатого воздуха; 7 – подача промывной воды; 8 – подача фильтрата; 9 – выпуск иловой воды

**Методы кондиционирования** подразделяются на реагентные и безреагентные.

Реагентные методы предполагают использование неорганических реагентов (хлорное и сернокислое железо, известь) и органических высокомолекулярных соединений (полиэлектролитов). Схема подготовки осадка реагентным методом перед механическим обезвоживанием приведена на рисунке 4.5.

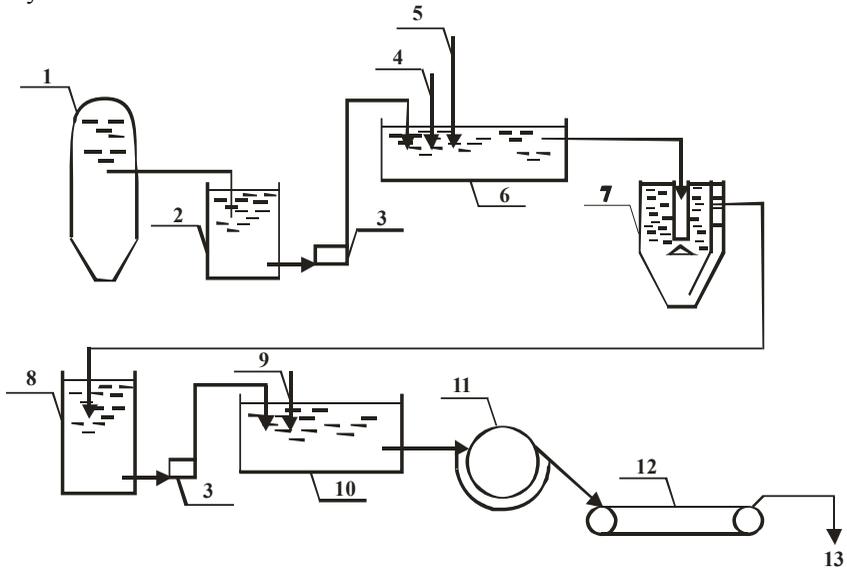


Рисунок 4.5 – Схема подготовки осадка перед механическим обезвоживанием: 1 – метантенк; 2 – сборный резервуар; 3 – плунжерный насос; 4 – подача воды; 5 – подача сжатого воздуха; 6 – промывка осадка; 7 – уплотнитель; 8 – резервуар уплотненного осадка; 9 – подача коагулянта; 10 – отделение коагулирования; 11 – вакуум-фильтр; 12 – конвейер; 13 – подача осадка в отделение термической сушки

*Недостатками* реагентных методов являются:

- большой массовый расход;
- высокая коррозионная активность;
- трудности с транспортировкой и хранением;
- внесение большого количества (до 40 %) балластных веществ.

К безреагентным методам относятся тепловая обработка и замораживание-оттаивание.

*Тепловая обработка* заключается в прогревании осадка в реакторе в течение определенного времени при температуре 140–200 °С.

Схема тепловой обработки и механического обезвоживания осадков приведена на рисунке 4.6.

*Преимуществом* данного метода является полная стерильность обработанного осадка (при обезвоживании такого осадка на вакуум-фильтре образуется кек влажностью 55–70 %.)

*Недостатки:*

- сложность конструкции реактора;
- большие энергетические затраты;
- затраты и высокая концентрация органических веществ в фильтрате, которые необходимо направлять на биологическую очистку.

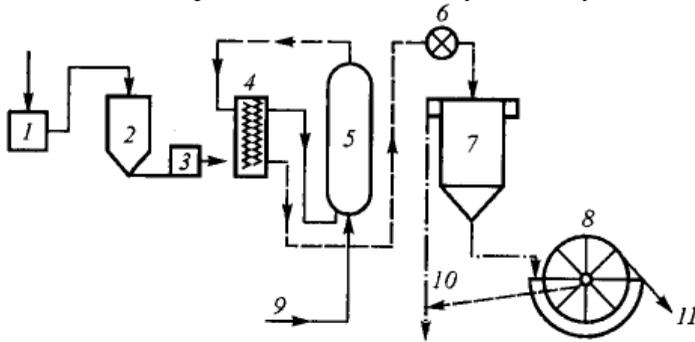


Рисунок 4.6 – Схема тепловой обработки и механического обезвоживания осадков городских сточных вод:

- 1 – дробилка; 2 – резервуар дробленого осадка; 3 – насос; 4 – теплообменник; 5 – реактор; 6 – дросселирующее устройство; 7 – уплотнитель; 8 – вакуум-фильтр; 9 – подача пара; 10 – отвод иловой воды и фильтрата; 11 – отвод кека

*Замораживание и последующее оттаивание* осадков сопровождается изменением их структуры, при этом связанная влага частично переходит в свободную, и это приводит к улучшению водоотводящих свойств осадков. Такие осадки можно подвергать механическому обезвоживанию без коагулирования химическими реагентами.

Искусственное замораживание осуществляется в барабанных или панельных льдогенераторах, естественное намораживание – на иловых площадках каскадного типа на естественном основании с дренажом и поверхностным удалением талой воды. При этом объем осадка уменьшается в 5–7 раз.

Расчет сооружений по промывке и уплотнению осадка. Суточный объем смеси осадка и промывной воды, м<sup>3</sup>/сут,

$$W_{см} = V_{общ} (1 + n), \quad (4.3)$$

где  $n$  – удельный расход промывной воды, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, принимается в зависимости от условий сбрасывания по таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Удельный расход промывной воды [7, п. 12.8.2]

Параметры	Удельный расход промывной воды, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
Сброженный сырой осадок	1,0–1,5
Сброженная в мезофильных условиях смесь сырого осадка и избыточного активного ила	2–3
То же в термофильных условиях	3–4

Объем промывных резервуаров, м<sup>3</sup>,

$$W_{пр} = \frac{W_{см} T_{пр}}{24 \cdot 60}, \quad (4.4)$$

где  $T_{пр}$  – продолжительность промывки, мин, согласно ТКП [7, п.12.8.3],  
 $T_{пр} = 15 \dots 20$  мин.

Число резервуаров для промывки осадка принимается не менее двух. В резервуарах необходимо предусматривать устройства для удаления всплывающих веществ, перемешивания и периодической очистки. При перемешивании сжатым воздухом количество его определяется из расчета 0,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> смеси промываемого осадка и воды [7].

Расход воздуха на перемешивание в промывных резервуарах, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_{возд} = \frac{W_{см}}{24} q_{возд}, \quad (4.5)$$

где  $q_{возд}$  – удельный расход воздуха, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Промывные резервуары обычно размещаются в цехе механического обезживания в специальном помещении (камере промывки). Там же располагается резервуар для иловой воды и насосы для ее перекачки.

Согласно ТКП [7, п. 12.8.4] для уплотнения смеси промытого осадка и воды предусматриваются илоуплотнители, рассчитываемые на 12–18 ч пребывания в них смеси при мезофильном режиме сбраживания и на 20–24 ч – при термофильном.

Рабочий объем уплотнителей, м<sup>3</sup>,

$$W_{\text{упл}}^{\text{раб}} = \frac{W_{\text{см}} t_{\text{упл}}}{24}, \quad (4.6)$$

где  $t_{\text{упл}}$  – продолжительность уплотнения, ч.

Объем иловой части уплотнителей определяется с учетом хранения осадка влажностью 94–96 % в течение двух суток:

$$W_{\text{упл}}^{\text{ил}} = \frac{V_{\text{общ}}(100 - P_1)}{100 - P_2} T, \quad (4.7)$$

где  $V_{\text{общ}}$  – суточный объем осадка, подаваемого на обезвоживание, м<sup>3</sup>/сут, принимается равным объему осадка, подаваемого на сбраживание;

$P_1$  – влажность сброженного осадка, %;

$P_2$  – влажность уплотненного осадка, %, составляет 94–96 %;

$T$  – продолжительность хранения, сут,  $T = 2$  сут.

Общий объем уплотнителей, м<sup>3</sup>,

$$W_{\text{упл}}^{\text{общ}} = W_{\text{упл}}^{\text{раб}} + W_{\text{упл}}^{\text{ил}}. \quad (4.8)$$

Принимаются вертикальные или радиальные уплотнители, причем не менее двух.

Расход промытого и уплотненного осадка, м<sup>3</sup>/сут,

$$W_{\text{ос}} = V_{\text{общ}} \frac{(100 - P_1)}{100 - P_2}. \quad (4.9)$$

Осадок удаляется плунжерными насосами.

Расход сливной воды, отводимой из илоуплотнителей, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_{\text{сливн}} = W_{\text{см}} - W_{\text{ос}}. \quad (4.10)$$

Сливная вода (иловая) подается в приемную камеру очистных сооружений. Количество загрязняющих веществ в иловой воде из уплотнителей составляет: по взвешенным веществам – 1000–1500 мг/дм<sup>3</sup>, по БПК<sub>5</sub> – 300–600 мг/дм<sup>3</sup> [7, п. 12.8.4].

Расчет реагентного хозяйства. В качестве реагентов при коагулировании осадков городских сточных вод применяются хлорид или сульфат железа III ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), известь ( $\text{CaO}$ ) в виде 10%-ных растворов.

Количество реагентов определяется в расчете по  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{CaO}$ , при этом дозы при вакуум-фильтровании определяются с учетом рекомендаций, приведенных в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Дозы реагентов при вакуум-фильтровании

Тип осадка	Дозы реагентов, % к массе сухого вещества	
	$\text{FeCl}_3$	$\text{CaO}$
Сброженный осадок из первичных отстойников	3–4	8–10
Сброженная промывная смесь 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 ил из аэротенков	6–9	17–25
<p><i>Примечание</i>  вания оставшуюся в осадке связанную на клеточном уровне воду можно удалить мифильном режиме.  При обезвоживании аэробно стабилизированного осадка доза реагентов на 30 % менее дозы для мезофильно сброженной смеси.  Доза <math>\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3</math> во всех случаях увеличивается по сравнению с дозами хлорида железа (III) на 30–40 %.  При обезвоживании осадка на камерных фильтр-прессах доза извести принимается во всех случаях на 30 % более.</p>		

Суточная потребность хлорного железа по чистому хлорному железу, т/сут,

$$\Pi_{\text{сут.ж}} = \frac{W_{\text{ос}}(100 - P_{\text{ос}})d}{100 \cdot 100}, \quad (4.11)$$

где  $W_{\text{ос}}$  – суточный объем подаваемого на обезвоживание осадка, м<sup>3</sup>/сут;

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

$d$  – доза хлорного железа, %.

Суточная потребность хлорного железа по товарному продукту при содержании чистого хлорного железа 60 % (в товарном продукте содержится до 40 % кристаллизованной воды), т/сут,

$$\Pi_{\text{сут.ж.тов.пр}} = \frac{\Pi_{\text{сут.ж}}}{0,6}. \quad (4.12)$$

Годовая потребность хлорного железа по товарному продукту

$$\Pi_{\text{год.ж}} = \Pi_{\text{сут.ж.тов.пр}} \cdot 365. \quad (4.13)$$

Объём резервуаров,  $W_{\text{рез.ж}}$ ,  $\text{м}^3$ , для хранения раствора  $\text{FeCl}_3$ , исходя из условий 30 % его концентрации и запаса на 20–30 суток определяется по формуле

$$W_{\text{рез.ж}} = \frac{\Pi_{\text{сут.ж.тов.пр}} T}{C_1 \gamma n}, \quad (4.14)$$

где  $T$  – продолжительность хранения, сут,  $T = 20 \dots 30$  суток;

$C_1$  – концентрация  $\text{FeCl}_3$  в 30%-ном растворе;

$\gamma$  – объёмный вес раствора, равный  $1,3 \text{ т/м}^3$ ;

$n$  – число резервуаров, шт.

Хлорное железо храниться в виде 30%-ного раствора в специальных железобетонных резервуарах, являющихся растворными баками. Резервуары покрываются изнутри двойным слоем диабазовых плиток.

Из растворных баков концентрированный раствор  $\text{FeCl}_3$  перекачивается кислотоупорными насосами в расходные баки, где концентрация доводится до 10 %.

Вместимость расходных баков рассчитывается на 12-часовой запас  $W_{\text{рез.ж}}$ ,  $\text{м}^3$ :

$$W_{\text{рез.ж}} = \frac{\Pi_{\text{сут.ж.тов.пр}} T}{0,1 \gamma_1 k}, \quad (4.15)$$

где  $T$  – время запаса, сут,  $T = 12 \text{ ч} = 0,5$  сут;

$\gamma_1$  – объёмная масса, равная  $1,1 \text{ т/м}^3$ .

$k$  – число расходных баков (не менее 2).

Дозировка раствора  $\text{FeCl}_3$  производится дозатором с постоянным уровнем в виде водослива, с постоянной циркуляцией этого раствора. Трубопроводы, вентили, фитинги изготавливаются из винипласта.

Суточный расход активной извести,  $\text{т/сут}$ ,

$$\Pi_{\text{сут.изв}} = \frac{W_{\text{ос}} (100 - P_{\text{ос}}) d}{100 \cdot 100}, \quad (4.16)$$

где  $W_{\text{ос}}$  – суточный объём подаваемого на обезвоживание осадка,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

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

$d$  – доза извести, %.

Суточная потребность активной извести по товарному продукту при содержании ее 50–70 %, т/сут,

$$\Pi_{\text{сут.изв.тов.пр}} = \frac{\Pi_{\text{сут.изв.}}}{0,7} . \quad (4.17)$$

Годовая потребность товарного продукта извести

$$\Pi_{\text{год.изв}} = \Pi_{\text{сут.изв.тов.пр}} \cdot 365 . \quad (4.18)$$

Вместимость бункеров для сухого хранения извести, м<sup>3</sup>, рассчитывается на 15-суточный запас:

$$W_{\text{б.изв}} = \Pi_{\text{сут.изв.тов.пр}} T , \quad (4.19)$$

где  $T$  – продолжительность хранения, сут,  $T = 15$  сут.

Для приготовления известковой суспензии используется известгасилка. Она представлена на рисунке 4.7. и работает следующим образом.

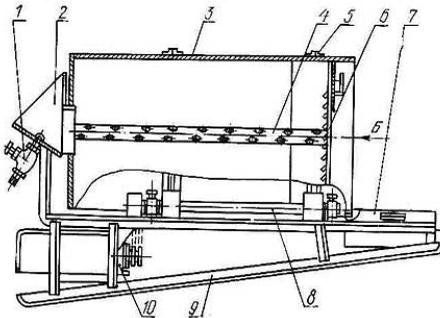


Рисунок 4.7 – Известгасилка СМ-1247 А:  
1 – вентиль; 2 – загрузочный бункер; 3 – барабан;  
4 – продольные гребенки; 5 – бандажи; 6 – решетка; 7 – лоток; 8 – приводные валы; 9 – рама;  
10 – привод

В барабан через загрузочный бункер подается известь, а по вентилю 1 – вода. При вращении приводных валов за счет сил трения, возникающих между катками и бандажами, приводится во вращение барабан. Гашение извести происходит при механическом перемешивании ее с водой. Более интенсивному перемешиванию способствуют гребенки с зубьями, которые при вращении барабана дробят куски извести.

Хранение известковой суспензии предусматривается в двух резервуарах вместимостью, м<sup>3</sup>,

$$W_{\text{рез.ж}} = \frac{\Pi_{\text{сут.изв.тов.пр}} T}{C_1 \gamma_1 k} , \quad (4.20)$$

где  $T$  – время запаса, сут,  $T = 12 \text{ ч} = 0,5$  сут;

$C_1$  – концентрация извести в растворе,  $C_1 = 0,1 \text{ мг/дм}^3$ ;

$\gamma_1$  – объёмная масса 10%-ного раствора извести, равная  $1,08 \text{ т/м}^3$ .

$k$  – число резервуаров (не менее 2).

### 4.3.2 Обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах

Обезвоживание осадка на вакуум-фильтрах заключается в удалении воды из сплошного слоя осадка, размещенного на ткани под действием вакуума, который создается со стороны ткани. На вакуум-фильтрах можно обрабатывать практически все виды осадков. Различают обычные барабанные, барабанные со сходящим полотном, ленточные, дисковые и вакуум-фильтры.

Для обезвоживания осадков городских сточных вод в основном используются непрерывно действующие барабанные вакуум-фильтры, остальные применяются для обезвоживания осадков производственных сточных вод.

Рабочий цикл вакуум-фильтра включает три последовательные операции: фильтрование; обезвоживание (просушивание); удаление кека.

**Барабанный вакуум-фильтр** (рисунок 4.8) представляет собой горизонтально расположенный вращающийся барабан 1, покрытый металлической волнистой сеткой 2, на которой располагается фильтровальная ткань из синтетических волокон (капрона, хлорина, нитрона, лавсана). Барабан частично (на 35–40 %) погружённый в емкость с осадком и разделен радиальными перегородками на секции (камеры) 9.

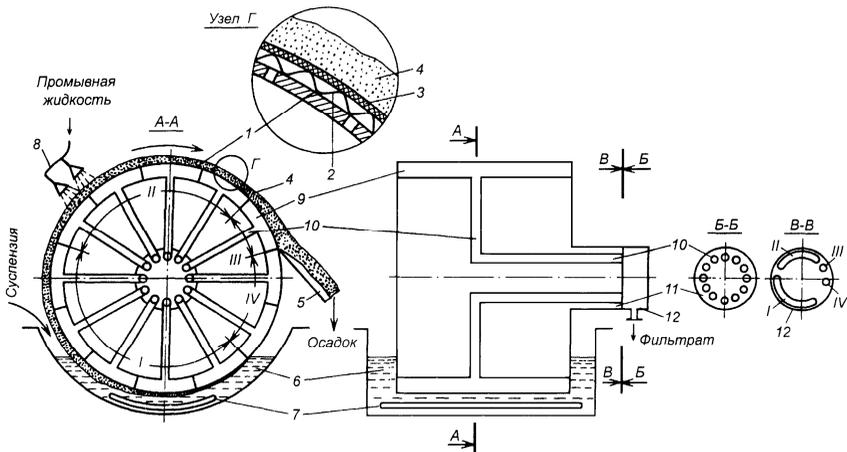


Рисунок 4.8 – Барабанный вакуум-фильтр:

1 – перфорированный барабан; 2 – волнистая сетка; 3 – фильтрованная перегородка; 4 – осадок; 5 – нож для съема осадка; 6 – корыто для суспензии; 7 – качающаяся мешалка; 8 – устройство для подвода промывной жидкости; 9 – камеры (ячейки) барабана; 10 – соединительные трубки; 11 – вращающаяся часть распределительной головки; 12 – неподвижная часть распределительной головки; I – зона фильтрования и отсоса фильтрата; II – зона промывки осадка и отсоса промывных вод; III – зона съема осадка; IV – зона очистки фильтровальной ткани

Каждая камера соединяется трубой 10 с различными полостями неподвижной части 12 распределительной головки. Трубы объединяются во вращающуюся часть 11 распределительной головки. Благодаря этому при вращении барабана 1 камеры 9 в определенной последовательности присоединяются к источникам вакуума и сжатого воздуха. При полном обороте барабана каждая камера проходит несколько зон.

Осадок фильтруется под действием вакуума (40–65 кПа) через ткань, а фильтрат отводится по коллектору. После выхода барабана из осадка начинается подсушивание налипшего на ткань кека атмосферным воздухом. Воздух, который проходит через слой кека, вместе с водой отводится по вакуумной линии. Срезанный ножом кек поступает на конвейер, далее – в бункер или на автомобиль и вывозится за пределы цеха. Для улучшения фильтрационной способности ткань через 8–24 ч работы фильтра регенерируют – промывают ингибированной кислотой или раствором ПАВ. Промывка фильтровальной ткани вакуум фильтров и фильтр-прессов предусматривается 8–10%-ным раствором ингибированной соляной кислоты.

Объём резервуаров для хранения HCl определяется из годовой потребности 50 л 20%-ной концентрации кислоты на 1 м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности:

$$W_{\text{рез. HCl}} = \frac{F_{\phi}}{C_1 \gamma_1 k} \cdot 0,05, \quad (4.21)$$

где  $C_1$  – концентрация соляной кислоты в растворе;

$\gamma_1$  – объёмная масса соляной кислоты, равная 1,3 т/м<sup>3</sup>.

$k$  – число резервуаров (не менее 2).

Барабанный вакуум-фильтр, регенерация фильтровальной ткани которого производится непрерывно, называется **барабанным вакуум-фильтром со сходящим полотном**. Преимуществами данных фильтров в сравнении с обычными фильтрами является возможность:

- поддерживать постоянной проницаемость фильтровальной ткани;
- осуществлять более полную разгрузку осадка;
- работать с более тонкими слоями осадка, что ведет к сокращению расхода химических реагентов для коагуляции труднофильтрующихся суспензий и увеличению частоты вращения барабана;
- предотвращать разжижение осадка выдуваемым из коллектора фильтратом;

– сокращать простой фильтров при замене фильтровальной ткани.

Их применение особенно эффективно, когда осадки сточных вод по своей структуре способны быстро заиливать фильтровальную ткань (сырые осадки из первичных отстойников).

Влажность осадка (кека) после барабанного вакуум-фильтра составляет 72–87 % в зависимости от характеристики обрабатываемого осадка, а про-

изводительность – 8–40 кг сухого вещества осадка на 1 м<sup>2</sup> поверхности фильтра в час.

Принципиальная схема работы барабанных вакуум-фильтров приведена на рисунке 4.9.

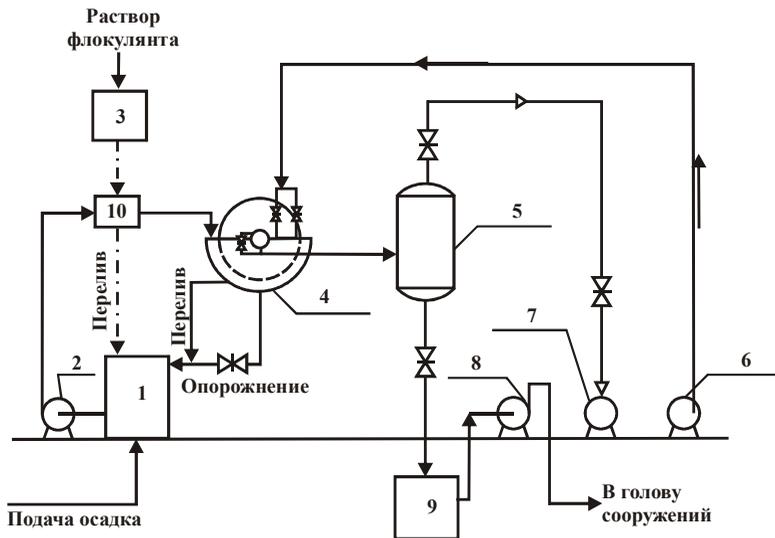


Рисунок 4.9 – Схема установки барабанного вакуум-фильтра:

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

**Ленточный вакуум-фильтр** представляет собой работающий под вакуумом аппарат непрерывного действия (рисунок 4.10). Перфорированная резиновая лента 2 перемещается по замкнутому пути с помощью барабанов 3 и 8. Фильтровальная ткань 5 прижимается к ленте при натяжении роликами 6. Осадок поступает на фильтровальную ткань из лотка 4. Фильтрат под вакуумом отсасывается в камеры 1, находящиеся под лентой, и отводится из аппарата. Промывная жидкость из форсунок 9 подается на слой осадка, отсасывается в другие вакуум-камеры и выводится из аппарата. Осадок отделяется от ткани за счет резкого перегиба на валике 7 и сбрасывается в бункер. На обратном пути между роликами 6 фильтровальная ткань регенерируется: очищается с помощью механических щеток, пропаривается или промывается жидкостью. Ширина ленты в промышленных фильтрах достигает 3 м, длина – 9 м. Скорость перемещения ленты зависит от свойств осадка.

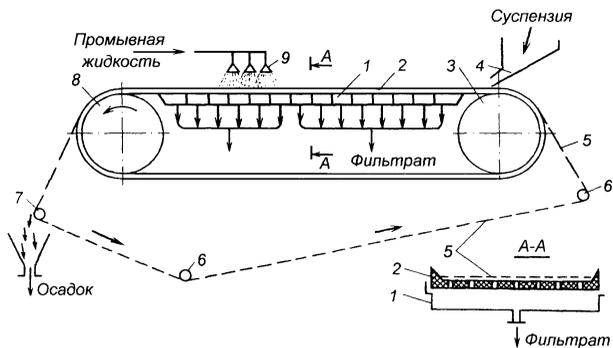


Рисунок 4.10 – Схема ленточного вакуум-фильтра непрерывного действия:

1 – вакуум-камеры; 2 – перфорированная лента; 3 – натяжной барабан; 4 – лоток для подачи осадка; 5 – фильтровальная ткань; 6 – натяжные ролики; 7 – валик для перегиба ленты; 8 – приводной барабан; 9 – форсунки для подачи промывной жидкости

**Дисковый фильтр** непрерывного действия состоит из 1–10 вертикальных дисков, укрепленных на горизонтальном полом валу (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Схема дискового вакуум-фильтра

Принцип работы дисковых вакуум-фильтров аналогичен барабанным. Вал с дисками вращается в емкости, имеющей форму полуцилиндра с выступающими спереди узкими камерами или карманами, число которых равно числу дисков. Диски при вращении по часовой стрелке входят в карманы и почти наполовину погружаются в осадок. Каждый диск состоит из плотно прижатых друг к другу секторов с рифлеными (иногда дырчатыми) боковыми поверхностями. У основания сектора имеется полая обойма с дренажной трубкой, которая вставляется в соответствующее отверстие вала и соединяет сектор с одним из продольных каналов, на которые разделен полей

вал. Снаружи каждый сектор обтянут мешком из фильтровальной ткани, обвязанным вокруг трубки. Секторы скрепляются друг с другом попарно длинными радиальными шпильками, ввинчиваемыми в тело вала и имеющими на концах дугообразные накладки. Таким образом, все секторы дисков, расположенные на одной и той же образующей вала, соединяются общим продольным каналом в нем. К одной из торцовых сторон вала плотно прижата распределительная головка, соединяющая диски с линиями вакуума и сжатого воздуха. Принцип действия распределительной головки тот же, что и в барабанном фильтре.

Осадок поступает в камеры корыта снизу в таком количестве, чтобы его избыток сливался через переливной патрубков. При движении осадок перемешивается.

Фильтрация происходит при вращении дисков, делающих 0,1–3 об/мин (иногда до 20 об/мин). Фильтрат отсасывается через ткань, радиальные желобки секторов, обойму, дренажные трубки, соответствующие каналы вала и камеры головки. В большинстве случаев за зоной фильтрации на диске следует зона просушки и отдувки осадка воздухом, промывка осадка в дисковых фильтрах производится крайне редко. С обеих сторон каждого диска на краях камер корыта установлены скребки или конические горизонтальные валики. При продувке изнутри сжатым воздухом ткань на секторе выпучивается, осадок разрыхляется и сбрасывается, когда ткань проходит между скребками. Осадок падает в пространство между камерами корыта и поступает в желоб или на транспортер, при помощи которого производится выгрузка. При снятии толстого слоя осадка пользуются скребками вместо валиков, причем скребки служат главным образом направляющей плоскостью.

Если нужна промывка осадка, к поверхности дисков подводятся радиальные трубки, через которые разбрызгивается вода; промывные воды отводятся через отдельную камеру распределительной головки. Диски обычно изготовляют из древесины твердых пород или же отливают из чугуна или цветных металлов.

Преимущества дисковых фильтров:

- наибольшая фильтрующая поверхность на единицу производственной площади по сравнению с фильтрами других типов;
- возможность удобной замены отдельных дисков и ткани на них и соответственно меньший расход ткани;
- сравнительно небольшой расход энергии.

Недостатки:

- плохая промывка осадков,
- возможность смешения промывной воды с суспензией в корыте фильтра; в связи с этим дисковые фильтры работают, как правило, без промывки осадка.

Расчет барабанных вакуум-фильтров. Рабочая поверхность вакуум-фильтров, м<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$F_{\text{в.ф}} = \frac{W_{\text{ос}}(100 - P_{\text{ос}})}{100qT} \cdot 1000, \quad (4.22)$$

где  $W_{\text{ос}}$  – количество осадка, подаваемого на обезвоживание, м<sup>3</sup>/сут;

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

$q$  – производительность, кг сухого вещества осадка на 1 м<sup>2</sup> поверхности фильтра в 1 ч, принимается по таблице 4.3;

$T$  – время работы вакуум-фильтров в сутки, принимается 6–24 ч.

Расход кека, м<sup>3</sup>/сут, определяется по формуле

$$Q_{\text{к}} = W_{\text{ос}} \frac{100 - P_{\text{ос}}}{100 - P_{\text{к}}}, \quad (4.23)$$

где  $P_{\text{к}}$  – влажность кека после вакуум-фильтров, %, принимается по таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Производительность вакуум-фильтров и фильтр-прессов [7]

Характеристика обрабатываемого осадка	Производительность, кг сухого вещества осадка на 1 м <sup>2</sup> поверхности фильтра в 1 ч		Влажность кека, %	
	вакуум-фильтров	фильтр-прессов	при вакуум-фильтрации	при фильтр-прессовании
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
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 уплотненного активного ила	20–30	5–12	75–80	62–75
Уплотненный активный ил станций аэрации населенных пунктов	8–12	2–7	85–87	80–83

Для вакуум-фильтрации сырых осадков следует предусматривать барабанные вакуум-фильтры со сходящим полотном.

Вакуум-фильтры принимаются по таблице 4.4 или 4.5. Количество резервных вакуум-фильтров при количестве рабочих единиц до трех – 1, от четырех до десяти – 2.

**Таблица 4.4 – Технические характеристики барабанных вакуум-фильтров**

Марка	Поверхность фильтрация, м <sup>2</sup>	Размеры барабана, м		Частота вращения барабана, об/мин	Установленная мощность, кВт	Габариты фильтра, мм			Масса фильтра с приводом, кг
		диаметр	длина			длина	ширина	высота	
БАУ-3	3	1,75	0,55	0,13–2	2	2000	2570	2350	2180
БАУ-5	5	1,75	0,96	0,13–2	2	2975	2570	2350	5200
БАУ-10	10	2,6	1,35	0,13–2	3,4	3420	3450	3300	8000
БАУ-20	20	2,6	2,7	0,13–2	5,6	4740	3710	3700	13100
БАУ-40	40	3,0	4,4	0,4–1,18	8,5	6550	3960	3650	18000
БАУ-60	60	3,4	6,6	0,15–1,5	15	8800	3960	3650	30000

**Таблица 4.5 – Технические характеристики барабанных вакуум-фильтров со сходящим полотном**

Марка	Показатели			
	площадь поверхности фильтрация, м <sup>2</sup>	диаметр барабана, мм	габаритные размеры, мм	Масса, кг
БсхОУ-5-1,75	5	1750	2600×2960×2540	4990
БсхОУ-10-2,6	10	2600	3165×4100×3052	7600
БсхОУ-20-2,6	20	2600	4750×3230×3830	14432
БсхОУ-40-3,4	40	3400	6300×5115×3725	17432

Расход фильтрата, отводимого из вакуум-фильтров, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_{\phi} = W_{oc} - Q_{к} \quad (4.24)$$

Фильтрат подается в камеру промывки, так как содержащиеся в нем непрореагированные коагулянты способствуют снижению концентрации взвеси в сливной воде уплотнителей промывного осадка.

При вакуум-фильтрации вакуум составляет 40–65 кПа (300–500 мм рт. ст.), давление сжатого воздуха для отдува осадка – 20–30 кПа (0,2–0,3 кгс/см<sup>2</sup>). Пропускная способность вакуум-насосов определяется из условия расхода воздуха 0,5 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> площади фильтра, а расход сжатого воздуха – 0,1 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> площади фильтра.

Количество отсасываемого воздуха вакуум-фильтром, м<sup>3</sup>/мин,

$$Q_{\text{отс. возд}} = F_{\text{в.ф}} q_{\text{возд}}, \quad (4.25)$$

где  $F_{\text{в.ф}}$  – площадь фильтрования одного вакуум-фильтра, м<sup>2</sup>;

$q_{\text{возд}}$  – расход воздуха на 1 м<sup>2</sup> площади фильтра,  $q_{\text{возд}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{мин}\cdot\text{м}^2$ .

На каждый вакуум-фильтр принимается вакуум-насос по таблице 4.6.

Количество воздуха, затрачиваемое на отдувку кека, м<sup>3</sup>/мин,

$$Q_{\text{отд.}} = F_{\text{в.ф}} q_{\text{сж.возд}}, \quad (4.26)$$

где  $q_{\text{сж.возд}}$  – расход сжатого воздуха на 1 м<sup>2</sup> площади фильтра, составляет 0,1 м<sup>3</sup>/мин·м<sup>2</sup>.

Если на очистных сооружениях есть воздуходувная станция, то подача воздуха предусматривается от нее. В противном случае подбирается один вакуум-насос на три вакуум-фильтра.

Таблица 4.6 – Технические характеристики вакуум-насосов и воздуходувок

Марка	Подача, м <sup>3</sup> /мин		Потребляемая мощность, кВт	
	вакуум-насоса при вакууме 70 %	воздуходувки при избыточном давлении нагнетания 50 кПа	вакуум-насоса	воздуходувки
ВВН-1,5	1,5	1,5	3,4	3,3
ВВН-3	3	3,3	5,5	5,3
ВВН-6	6	6,0	13,0	13,4
ВВН-12	12	10,4	18,0	21,0
ВВН-25	25	25,0	58,0	63,0
ВВН-50	50	53,0	100,0	120,0

### 4.3.3 Обезвоживание осадков сточных вод на фильтр-прессах

Обезвоживание осадка на фильтр-прессах заключается в удалении воды под действием избыточного давления, которое создается со стороны осадка. Фильтр-прессы применяются в тех случаях, когда осадок направляют после обезвоживания на сушку или сжигание или когда необходимо получить осадки для дальнейшей утилизации с минимальной влажностью. По сравнению с вакуум-фильтрами, при прочих равных условиях после обработки на фильтр-прессах получают осадки с меньшей влажностью.

Для обезвоживания осадков сточных вод применяются рамные, ленточные, камерные, мембранно-камерные, барабанные и винтовые (шнековые) фильтр-прессы.

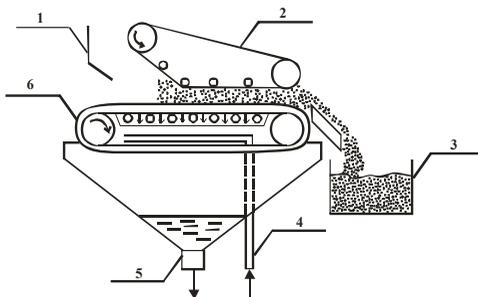
**Рамный фильтр-пресс** имеет набор вертикально расположенных чередующихся плит и рам. Между поверхностями плит и рам проложена фильтровальная ткань. Сначала собирают комплект рам и плит, загружают камеры осадком и отжимают его. Затем рамы и плиты поочередно отодвигают и обезвоженный осадок сбрасывают в бункер. Рамные фильтр-прессы имеют низкую пропускную способность. Кроме того, выгрузка осадка из фильтра обычно производится вручную. В настоящее время эти фильтры практически не применяются.

Основными элементами **ленточного фильтр-пресса** являются рама для интегрированной загрузки осадка, верхняя и нижняя фильтровальные ленты для гравитационного дренажа и отжима, системы направляющих, промывки и выгрузки осадка. В современных моделях часто имеется встроенный кожух для защиты от разбрызгивания осадка и фильтрата и от выхода пара, тумана и газов с неприятным запахом. Конструкция может также включать в себя отдельную систему местной вытяжной вентиляции, расположенную над блоком ленточного фильтр-пресса. Загружаемый в устройство осадок равномерно распределяется с помощью желоба по всей ширине фильтровальной ленты на участке гравитационного дренажа. Иногда в желобе имеются приваренные направляющие для более равномерного распределения осадка. После предварительного обезвоживания на горизонтальном участке осадок поступает в зону отжима.

Конструкция ленточного фильтр-пресса приведена на рисунке 4.12.

Рисунок 4.12 – Горизонтальный ленточный фильтр-пресс:

- 1 – трубопровод для подачи осадка;
- 2 – прижимная лента;
- 3 – емкость для обезвоженного осадка;
- 4 – трубопровод для подачи промывной воды;
- 5 – труба для отвода фильтрата и промывной воды;
- 6 – фильтрующая лента



Ленточные фильтр-прессы часто используются для обезвоживания сброженного осадка, однако их также можно применять для обезвоживания уплотненного осадка, не прошедшего промежуточный этап сбраживания. Не рекомендуется использовать для неуплотненного осадка.

Эффект обезвоживания на ленточном фильтр-прессе несколько ниже, чем при использовании центрифуг. Первичный осадок можно обезвоживать до 30–35 % по сухому веществу, смесь первичного осадка и избыточного ила – до 24–30 %, аэробно стабилизированный осадок – до 15–22 %, сброженный осадок – до 20–28 % [9].

Ленточные фильтр-прессы применяются на очистных сооружениях малого и среднего размеры, однако благодаря компактной закрытой конструкции их все чаще заменяют центрифугами. Тем не менее, на некоторых очистных сооружениях, обслуживающих эквивалент численности населения до 100 000 жителей, например в Тарту (Эстония), ленточные фильтр-прессы продолжают использоваться [9].

Ленточный фильтр-пресс предназначен для непрерывной работы (24 часа в сутки 7 дней в неделю). На практике на многих средних по размерам очистных сооружениях обезвоживание проводится в одну или две смены (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). В этом случае рекомендуется использовать промежуточный резервуар, оснащенный мешалкой, что позволяет обеспечить стабильные условия эксплуатации.

При загрузке осадка в метантенк в непрерывном режиме возможна подача сброженного осадка из метантенка непосредственно на фильтр-пресс. При отсутствии сбраживания для поддержания оптимальных условий соотношение первичный осадок/избыточный ил должно оставаться постоянным.

Как и ленточный илоуплотнитель, ленточный фильтр-пресс нуждается в постоянной промывке. Промывка фильтратом производится автоматически. Очистка и техническое обслуживание проводятся, как правило, через каждые 1–2 недели.

Ленточный фильтр-пресс достаточно надежен в эксплуатации при условии его регулярного профилактического осмотра и ремонта. Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах 80000–250000 € в зависимости от производительности оборудования [9]. Срок службы составляет 15–20 лет, замену лент и других быстроизнашивающихся деталей необходимо проводить один раз в 1–2 года.

Установленная мощность составляет примерно 20–50 кВт, потребление электроэнергии – около 20–30 кВт·ч/т сухого вещества. Расход флокулянта обычно составляет 4–12 кг на тонну сухого вещества – в среднем несколько ниже по сравнению с центрифугой – и варьируется в зависимости от свойств осадка.

**Камерные фильтр-прессы** ФПАКМ (фильтр-пресс автоматизированный камерный модернизированный) находят довольно широкое распространение. Они выпускаются промышленностью серийно и имеют площадь поверхности фильтрования 2,5–50 м.

Фильтр состоит из нескольких фильтровальных плит и фильтрующей ткани, протянутой между ними с помощью направляющих роликов. Поддерживающие плиты связаны между собой вертикальными опорами, воспринимающими нагрузку от давления внутри фильтровальных плит. В натянутом состоянии ткань поддерживается с помощью гидравлических устройств.

Загрузка осадка осуществляется циклами. Фильтровальные камеры с загруженным в них осадком сжимаются с помощью гидроцилиндров в течение несколько секунд под давлением до 60 бар.

Результат обезвоживания в камерном фильтр-прессе, в основном, зависит от свойств осадка и условий его кондиционирования. При использовании органических флокулянтов результаты обезвоживания близки к результатам обезвоживания на центрифугах.

В камерных фильтр-прессах для кондиционирования можно использовать известковое молоко ( $15\text{--}25 \text{ кг/м}^3$ ) и хлорид железа ( $5\text{--}12 \text{ кг/м}^3$ ). В этом случае необходима проницаемая фильтрующая ткань. Очистка воздуха производится с помощью кислого раствора, очистка фильтровальной ткани – с помощью соляной кислоты через определенные промежутки времени (например, один раз в две недели). При обезвоживании с добавлением извести содержание сухого вещества может превышать 40 %, однако в этом случае в осадке будет содержаться до 30–50 % извести.

Результат обезвоживания зависит также от типа и свойств осадка: при обработке известью/железом содержание сухого вещества может увеличиться до 45 % для первичного осадка и смеси первичного осадка и избыточного ила, 35% – для аэробно стабилизированного осадка и 40 % – для сброженного осадка.

Камерный фильтр-пресс можно применять для обезвоживания первичного осадка и избыточного ила, возможно, после уплотнения и сбраживания, в различных процессах очистки стоков. Такой фильтр-пресс особенно подходит для очистки от неорганических взвешенных веществ и химических веществ.

Для обезвоживания осадка на коммунальных очистных сооружениях данный метод широко используется в Германии [9]. Камерные фильтр-прессы чаще используются в горнодобывающей промышленности и других отраслях, где высока доля неорганического материала в осадке. Данный метод обезвоживания подходит также для осадков, образующихся после химического осаждения фосфора.

Эксплуатация камерных фильтр-прессов обычно осуществляется в одну или две смены (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). Эта технология требует частой очистки в соответствии с инструкциями поставщика и несколько более частого технического обслуживания, чем центрифуги и ленточные фильтр-прессы.

При добавлении извести образуется аммиак, поэтому рекомендуется очистка воздуха.

Расход полимеров при работе камерных фильтр-прессов аналогичен расходу при использовании центрифуги или ленточного фильтр-пресса, потребление энергии – среднее между потреблением при использовании центрифуги и ленточного фильтр-пресса. Инвестиционные и эксплуатационные

затраты на камерный фильтр-пресс относительно высоки по сравнению с центрифугой или ленточным фильтр-прессом в связи с более высокой стоимостью оборудования и расходами на персонал и достигают 150000–350000 € в зависимости от производительности и материала оборудования. Срок службы установки составляет 15–20 лет, замена фильтровальной ткани и других изнашиваемых деталей проводится несколько раз в течение срока службы.

Установленная мощность – примерно 20–50 кВт, расход электроэнергии данного устройства зависит от фактического времени работы оборудования (около 20–30 кВт·ч/т сухого вещества). Расход флокулянта составляет 4–12 кг на тонну сухого вещества. Для эксплуатации, ремонта, контроля и очистки требуется присутствие оператора, необходима также специальная подготовка персонала у поставщика оборудования.

В настоящее время все большее распространение получают **мембранно-камерные фильтр-прессы**, которые являются усовершенствованным вариантом камерного фильтр-пресса. Представляют собой серию вертикальных плит, имеющих каналы и покрытых тканью для поддержания кека. Плиты смонтированы в корпусе, верхние опоры которого соединены двумя тяжелыми горизонтальными и параллельными брусками или рельсами. При их использовании содержание сухого вещества можно повысить на 2–3 % за счет дополнительной мембраны, расположенной между фильтровальной тканью и пластиной фильтра. Мембрана позволяет уменьшить время обезвоживания и увеличить концентрацию сухих веществ в осадке. Инвестиционные расходы на приобретение мембранного фильтр-пресса являются весьма высокими.

**Барабанные фильтр-прессы** типа «Юнсон» конструктивно представляют собой сочетание ленточного фильтра и барабанного пресса.

Расчет камерного фильтр-пресса. Рабочая площадь фильтр-пресса, м<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$F_{\text{ф.п}} = \frac{W_{\text{ос}}(100 - P_{\text{ос}})}{100qT} \cdot 1000, \quad (4.27)$$

где  $W_{\text{ос}}$  – количество осадка, подаваемого на обезвоживание, м<sup>3</sup>/сут;

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

$q$  – производительность, кг сухого вещества осадка на 1 м<sup>2</sup> поверхности фильтра в 1 ч, принимается по таблице 4.7;

$T$  – время работы фильтр-пресса в сутки, ч.

Тип Фильтр-прессов принимают по таблице 4.7. Количество резервных фильтр-прессов при количестве рабочих единиц до трех – 1, от четырех до десяти – 2.

Таблица 4.7 – Технические характеристики фильтр-прессов

Показатели	Марка				
	ФПАКМ -2,5У	ФПАКМ -5У	ФПАКМ -10У	ФПАКМ- 25У	ФПАКМ -50У
Площадь поверхности фильтрования, м <sup>2</sup>	2,5	5	10	25	50
Рабочее давление, МПа	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Число фильтрующих плит, шт.	6	6	12	16	20
Ширина фильтрующей траншеи, мм	700–750	845–920	845–920	1100–1200	1450

Расход образующегося кека, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_k = W_{oc} \frac{100 - P_{oc}}{100 - P_k}, \quad (4.28)$$

где  $P_k$  – влажность кека после фильтр-прессов, %, принимается по таблице 4.3.

Расход фильтрата, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_{\phi} = W_{oc} - Q_k. \quad (4.29)$$

Фильтрат подается в илоуплотнители или отстойники.

Показатели работы фильт-прессов значительно улучшаются при реагентной обработке осадков.

#### 4.3.4 Центрифугирование осадков

Центрифугирование осадков заключается в разделении фаз в поле центробежных сил. Оно находит все большее распространение.

Преимуществом использования центрифуг в сравнении с другими методами обезвоживания является простота, экономичность и управляемость процессом.

Центрифугирование осадков производится с применением минеральных коагулянтов и флокулянтов или без них. При использовании флокулянтов осадок после обезвоживания имеет меньшую влажность, а центрифуга – большую пропускную способность; фугат, образующийся при центрифугировании, имеет меньшую загрязненность.

При работе с флокулянтами производительность центрифуг принимается в 2 раза меньше, а эффективность задержания сухого вещества при этом увеличивается до 90–95 %.

Поскольку промышленностью выпускается ограниченное число флокулянтов, для обработки осадков сточных вод они применяются редко. Расход флокулянта колеблется от 4 до 14 кг на тонну сухого вещества и зависит от нескольких факторов, например, консистенции осадка, степени сбраживания, соотношения между первичным осадком и избыточным илом и содержания органических веществ в осадке. Правильный выбор катионного полимера в качестве флокулянта уменьшает его расход.

При центрифугировании осадков без применения флокулянтов образующийся фугат имеет высокие значения БПК, ХПК и содержание взвешенных веществ. Для дальнейшей обработки фугат обычно направляется на сооружения биологической очистки, увеличивая тем самым нагрузку на них, что необходимо учитывать при расчете очистных сооружений.

Перед подачей осадка на центрифуги предусматривается удаление из него песка, а перед центрифугами с диаметром ротора менее 0,5 м – установка решеток-дробилок.

Центрифуги по методу центрифугирования подразделяются на фильтрующие и осадительные.

*Номенклатура базовых моделей центрифуг:*

ФГП, ФГШ – фильтрующая, с горизонтальным ротором и соответственно с пульсирующей и шнековой выгрузкой осадка;

ФВИ, ФВВ, ФВШ – фильтрующая, с вертикальным ротором и соответственно инерционной, вибрационной и шнековой выгрузкой осадка;

ОГШ – осадительная, с горизонтальным ротором и выгрузкой осадка;

ФГН – фильтрующая, с горизонтальным ротором и ножевым съемом осадка;

ФПН, ФПС – фильтрующая, подвесная, с ножевой выгрузкой осадка и саморазгружающаяся;

ФМН – фильтрующая, маятниковая с ножевой выгрузкой осадка;

ФМБ, ФМД – фильтрующая, маятниковая, с ручной выгрузкой осадка через верхний борт и через днище;

ФВБ – фильтрующая, вертикальная, с ручной выгрузкой осадка через верхний борт;

ОТР – осветляющая, трубчатая, с ручной выгрузкой осадка.

Среди осадительных центрифуг внимания заслуживают декантеры – центрифуги типа ОГШ. Типичная конструкция декантерной центрифуги приведена на рисунке 4.13.

Основными элементами центрифуги являются барабан с цилиндрической и конической секциями, конвейерный шнек внутри барабана и привод для создания вращательного движения.

Корпус вокруг центрифуги служит для защиты и шумоподавления, а также для отвода кека и отделившейся осветленной жидкости (фугата) из устройства. Выгрузка кека из барабана производится через отверстие, расположенное в суженной части конуса. Благодаря небольшой разнице в скорости вращения барабана и конвейера кек скапливается, уплотняется и поступает из цилиндрической части в конус для выгрузки.

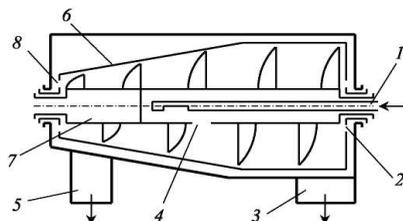


Рисунок 4.13 – Схема центрифуги ОГШ  
 1 – труба подачи; 2 – сливные отверстия;  
 3 – сливная труба; 4 – отверстие для осадка;  
 5 – труба осадка; 6 – ротор; 7 – полный шнек; 8 – окна

Отверстия для слива фугата имеют переделы, позволяющие регулировать уровень жидкости в чаше.

Центрифуги, как правило, используются для обезвоживания сброженного или аэробно стабилизированного осадка, однако их также можно применять для обезвоживания других видов осадков. Раньше центрифуги использовались, в основном, на крупных очистных сооружениях, в настоящее время они все чаще применяются и на очистных сооружениях среднего и малого размеров. Процесс протекает компактно и замкнуто, аккуратно и надежно. В настоящее время на рынке представлены модели небольших типоразмеров. Существуют также передвижные установки, размещаемые в грузовых автомобилях. Их можно использовать для обезвоживания осадка на нескольких небольших очистных сооружениях, что дает возможность распределения расходов между эксплуатирующими организациями.

Результат обезвоживания зависит, в основном, от типа осадка. Первичный осадок обезвоживается гораздо проще, чем смесь первичного осадка и избыточного ила, аэробно стабилизированный или сброженный осадок. С помощью центрифуги первичный осадок можно обезвоживать до 32–40 % по сухому веществу, смесь первичного осадка и избыточного ила – до 26–32 %, аэробно стабилизированный осадок – до 18–24 %, сброженный осадок – до 22–30 %.

Центрифуга может использоваться непрерывно (24 часа 7 дней в неделю). На очистных сооружениях среднего и малого размеров обезвоживание проводится в одну или две смены в сутки (8 или 16 ч в сутки 5 дней в неделю). Для достижения стабильных условий рекомендуется использовать небольшой промежуточный резервуар, оснащенный мешалкой. Это особенно выгодно для крупных очистных сооружений.

Инвестиционные затраты обычно варьируются в пределах 100000–250000 € в зависимости от производительности оборудования. Срок службы оборудования, как правило, составляет 15–20 лет, однако при отсутствии профилактического технического обслуживания подшипников и других бы-

строизнашивающихся деталей срок службы может сократиться до 10–15 лет. Установленная мощность составляет примерно 20–90 кВт (в зависимости от производительности), потребление электроэнергии – около 30–35 кВт·ч/т сухого вещества, т.е. несколько выше, чем для других альтернативных методов обезвоживания осадка. Оно зависит также от фактического времени работы оборудования.

Расчет центрифуг. Количество обезвоженного осадка в сутки, образующегося после центрифугирования по сухому веществу, т/сут, определяется по формуле

$$M_k = M_{mud} \frac{100}{\varepsilon}, \quad (4.30)$$

где  $M_{mud}$  – количество осадка, подаваемого на центрифуги по сухому веществу, т/сут;

$\varepsilon$  – эффективность задержания сухого вещества центрифугой.

Объем кека после центрифугирования за сутки, м<sup>3</sup>/сут,

$$W_k = \frac{M_k \cdot 100}{\rho(100 - P_k)}, \quad (4.31)$$

где  $\rho$  – плотность осадка,  $\rho = 0,85$  т/м<sup>3</sup>.

$P_k$  – влажность кека, %, принимается по таблице 4.8;

**Таблица 4.8 – Эффективность задержания сухого вещества и влажность кека при обезвоживании на центрифугах [7]**

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

Количество образующего фугата в сутки, м<sup>3</sup>/сут,

$$Q_{\phi} = W_{oc} - W_k,$$

где  $W_{oc}$  – количество осадка, поступающего на центрифуги, м<sup>3</sup>/сут.

Масса сухого вещества в фугате, т/сут,

$$M_{\text{с.ф}} = \frac{M_{\text{муд}}(100 - \mathcal{E})}{100}. \quad (4.32)$$

По таблице 4.9 назначается марка и количество рабочих центрифуг. Если количество рабочих центрифуг до 2, то к установке принимается одна резервная, если 3 и более – 2 резервных.

Таблица 4.9 – Технические характеристики осадительных центрифуг

Параметры	Тип центрифуги		
	ОГШ-352К-6	ОГШ-502К-4	ОГШ-631К-2
Расчетная пропускная способность по исходному осадку, м <sup>3</sup> /ч*	4–6	7–14	20–40
Наибольший рабочий диаметр ротор, мм	350	500	630
Рабочая длина ротора, мм	630	900	2370
Частота вращения ротора, об/мин	2800–3600	200–2600	2000
Фактор разделения	1500–2500	1100–1950	1400
Габаритные размеры центрифуги с электродвигателем, мм:			
длина	2380	2710	4539
ширина	1585	1990	2780
высота	1030	1526	1430
Мощность электродвигателя, кВт	22	28,32	100
*Большие значения применяются для центрифугирования активного ила и аэробно-стабилизированной смеси.			

Продолжительность работы центрифуги при обезвоживании осадка, ч,

$$t_{\text{р.ц}} = \frac{Q_{\text{ос}}}{Q_{\text{центр}}}. \quad (4.33)$$

где  $Q_{\text{центр}}$  – производительность одной центрифуги, м<sup>3</sup>/ч.

Применение центрифуг для обработки осадков сточных вод экономически целесообразно для очистных сооружений пропускной способностью 70–100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Сопоставление методов и аппаратов механического обезвоживания приведено в таблице 4.10. При выборе аппаратов для обезвоживания осадков сточных вод большое значение имеет увязка их параметров и режима

работы со всей технологической схемой обработки и утилизации осадков, а также с работой сооружений по очистке сточных вод.

**Таблица 4.10 – Сопоставление методов механического обезвоживания осадков сточных вод**

Аппараты, применяемые для обезвоживания	Основные преимущества	Основные недостатки
Вакуум-фильтры	<p>Возможность обработки осадков без выделения песка и распространения запаха.</p> <p>Сокращение топливноэнергетических расходов на термосушку.</p> <p>Отсутствие быстроизнашивающихся узлов</p>	<p>Применение минеральных реагентов, вакуум-насосов.</p> <p>Периодические замены фильтровальной ткани.</p> <p>Повышенный расход электроэнергии</p>
Центрифуги	<p>Компактность установок.</p> <p>Возможность работы по безреагентным схемам и с применением флокулянтов</p>	<p>Необходимость извлечения из осадков крупных включений и песка, периодической наплавки или замены шнеков.</p> <p>Повышенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливноэнергетические расходы на термосушку</p>
Ленточные фильтр-прессы	<p>Отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов.</p> <p>Сокращение расхода электроэнергии.</p> <p>Отсутствие необходимости выделения крупных включений и песка из осадков</p>	<p>Повышенные габариты по сравнению с центрифугами.</p> <p>Возможность распространения запаха.</p> <p>Увеличенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливноэнергетические расходы на термосушку.</p> <p>Необходимость периодической замены фильтровальной ткани</p>
Камерные и рамные фильтр-прессы	<p>Низкая влажность обезвоженного осадка и топливноэнергетические расходы на термосушку и сжигание</p>	<p>Низкая удельная производительность (с единицы поверхности).</p> <p>Повышенный расход реагентов.</p> <p>Периодичность действия.</p> <p>Необходимость замены фильтровального полотна по мере износа</p>

## 5 ТЕРМИЧЕСКАЯ СУШКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Термическая сушка предназначена для обеззараживания и уменьшения массы осадков сточных вод. Перед подачей на сушку необходимо произвести максимальное обезвоживание осадков. После термической сушки осадок представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов, внешне сухой (влажностью 10–50 %) сыпучий материал.

Существуют различные **способы термической сушки**: конвективный, радиационно-конвективный, кондуктивный, сублимационный в электромагнитном поле. Наиболее распространенным является конвективный способ сушки, при котором необходимая для испарения влаги тепловая энергия непосредственно передается высушиваемому материалу теплоносителем – сушильным агентом.

В качестве сушильного агента могут использоваться топочные газы (предпочтительней), перегретый пар или горячий воздух.

Сушилки конвективного типа можно разделить на две группы:

- 1) барабанные, ленточные, щелевые и др. – при продувке сушильного агента через слой материала частицы его остаются неподвижными;
- 2) сушилки со взвешенным (псевдооживленным) слоем (кипящим, фонтанирующим, вихревым) и пневмосушилки – частицы материала перемещаются и перемешиваются потоком сушильного агента.

Сушильная установка состоит из сушильного аппарата и вспомогательного оборудования: топки с системой топливоподачи, питателя, циклона, скруббера, тягодутьевых устройств, конвейеров и бункеров, контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Сушильные аппараты периодически заполняются осадком не более чем на половину рабочего объема. Затем включаются система обогрева сушилок и вакуум-насосы, создающие разрежение в аппарате. Вторичный пар, образующийся вследствие испарения воды осадка, поступает в барометрический конденсатор и оттуда в виде конденсата направляется на очистные сооружения.

На малых установках для конденсации вторичного пара можно применять теплообменники. Концентрация загрязнений в конденсате вторичного пара определяется уносом загрязняющих веществ с конденсатом и наличием летучих органических веществ.

Температура осадка в процессе сушки изменяется от 50–85 °С (кипение) до 30–40 °С (в конце сушки). При температуре около 85 °С происходит дегельминтизация осадка.

Термическая сушка жидких осадков требует большого расхода теплоты на испарение влаги. Она может быть экономически целесообразна для сушки относительно небольших объемов осадков, например, для сушки актив-

ного ила и использования его в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных. Для такой сушки обычно применяют распылительные сушилки и сушилки со взвешенным слоем при температуре теплоносителя не более 250 °С.

Барабанные сушилки работают по схеме с прямоточным движением осадка и сушильного агента, в качестве которого применяют топочные газы. На рисунке 5.1 показана сушилка барабанного типа.

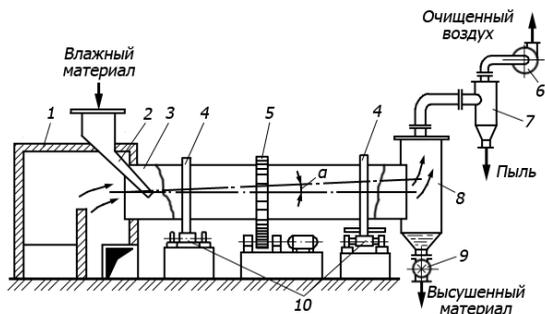


Рисунок 5.1 – Схема барабанной сушилки:

- 1 – топка; 2 – бункер; 3 – барабан; 4 – бандаж; 5 – зубчатое колесо; 6 – вентилятор; 7 – циклон; 8 – приемный бункер; 9 – шлюзовый питатель; 10 – опорные ролики

Сушильный агрегат состоит из топки, сушильной камеры и вентиляционного устройства. Со стороны входа находится загрузочная камера, а со стороны выхода – разгрузочная камера. Топка расположена со стороны входа в сушильную камеру. Для отсоса отработавших газов устанавливают вентилятор. Барабан установлен наклонно к горизонту с углом 3–4 °, покоится на катках и имеет привод, от которого осуществляется вращение. Температура топочных газов на входе в сушилку 600–800 °С, на выходе из нее – 170–250 °С. Осадок перед его загрузкой в барабан требует некоторой обработки. Влажность поступающего в барабан осадка должна быть не более 50 %, иначе он будет прилипать к внутренней поверхности барабана. Для снижения влажности поступающего в барабан осадка к нему необходимо добавлять ранее высушенный осадок.

Осадок перемещается в барабане благодаря движению топочных газов и вращению барабана. Частота вращения барабана – 1,5–8 об/мин. Для равномерного распределения осадка по сечению барабана внутри устанавливаются насадки (винтовая, лопастная или секторная). Для измельчения и перемешивания осадка в начале и конце сушилки дополнительно устанавливаются корабельные цепи, свободно подвешиваемые к внутренней поверхности барабана.

После сушки в барабанной сушилке осадок не загнивает, не содержит гельминтов и патогенных микроорганизмов, имеет влажность 20–30 %.

Серийные барабанные сушилки выпускаются диаметром 1–3,5 м и длиной 4–27 м (см. таблицу 4.11).

Барабанные сушилки имеют большую единичную производительность, но малое напряжение по влаге, что обуславливает их большие габариты, массу и металлоемкость. Они имеют низкий КПД, требуют высоких капитальных затрат и относительно сложны в эксплуатации.

*Сушилки со встречными струями* газозвеси получили распространение в последние годы. Сущность метода сушки во встречных струях заключается в том, что частицы материалов, находясь во взвешенном состоянии в горячем газовом потоке, т.е. образуя вместе с ним так называемую газозвесь, движутся по соосным горизонтальным трубам навстречу друг другу и в результате ударной встречи струй вступают в колебательное движение, проникая из одной струи в другую. Это приводит к увеличению истинной концентрации материалов в зоне сушки. При достаточно высоких скоростях сушильного агента происходит измельчение материала. При этом также увеличивается суммарная площадь поверхности тепло- и массообмена.

Основными элементами сушильной установки (рисунок 5.2) являются аппарат со встречными струями, который выполнен в виде двух горизонтальных разгонных труб, врезанных в вертикальную пневмотрубу, и воздушно-проходной сепаратор.

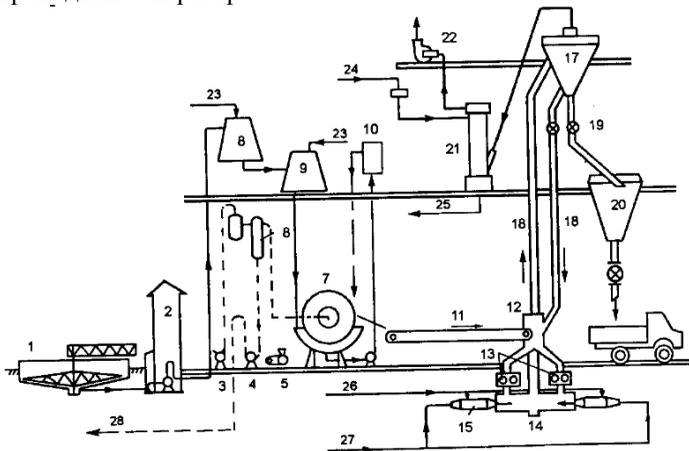


Рисунок 5.2 – Схема установки для термической сушки механически обезвоженных осадков в сушилке со встречными струями:

- 1 – осадкоуплотнитель; 2 – насосная станция; 3 – вакуум-насос; 4 – насос для откачки фильтрата; 5 – компрессор; 6 – ресивер; 7 – вакуум-фильтр; 8, 9 – месители; 10 – емкость для ингибированной кислоты; 11 – ленточный конвейер для подачи осадка; 12 – приемная камера; 13 – двухвалковые шнековые питатели; 14 – сушильная камера с разгонными трубами; 15 – камеры сгорания; 16 – вертикальный стояк; 17 – сепаратор воздушно-проходного типа; 18 – трубопровод ретурга; 19 – шлюзовые затворы; 20 – подача сухого осадка в бункер готового продукта; 21 – водяной скруббер; 22 – вентилятор; 23 – подача реагентов; 24 – подача воды; 25 – отвод шлама; 26 – подача газа; 27 – подача воздуха; 28 – отвод фильтрата

Обезвоженный осадок подается ленточным конвейером 11 и шнековыми питателями 13 в сушильный элемент со встречными струями 14, выполненный в виде двух труб, врезанных в вертикальный стояк 16. Сушка производится по ретурной схеме, т.е. с добавкой высушенного осадка к осадку, подаваемому на сушку. Высушенный гранулированный осадок выгружают из аэрофонтанного аппарата 17. Кек с ретуром смешивают в шнековом питателе, обеспечивающем подачу однородной по составу и влажности смеси.

Вторая ступень сушки проходит в сепараторе воздушно-проходного типа (аэрофонтане) 17. В нем увеличивается время контакта сушильного агента с осадком и происходит классификация частиц. Крупные частицы осадка через шлюзовый затвор 19 поступают в бункер готового продукта, а мелкие частицы потоком сушильного агента увлекаются в водяной скруббер 27.

Сушилки со встречными струями имеют производительность 0,7–3 т/ч по испаряемой влаге. Эти сушилки по сравнению с барабанными сушилками позволяют сократить капитальные затраты в 3–4 раза, а эксплуатационные – на 15 %.

*Пневматические сушилки* (трубы-сушилки) применяют за рубежом. Обезвоженный осадок предварительно смешивают с термически высушенным и измельчают в сушильной мельнице. Осадок сушат в вертикальной трубе длиной до 20 м, по которой происходит движение снизу вверх топочных газов и взвешенных в их потоке частиц осадка.

Высушенный осадок с влажностью 10–15 % отделяют от отходящих газов в циклоне и с помощью раздаточного узла либо расфасовывают, либо подают в печь, где его сжигают. Туда же отсасывающим вентилятором подают запыленные отходящие газы. Часть обезвоженного осадка шнековым питателем подают в сушильную мельницу.

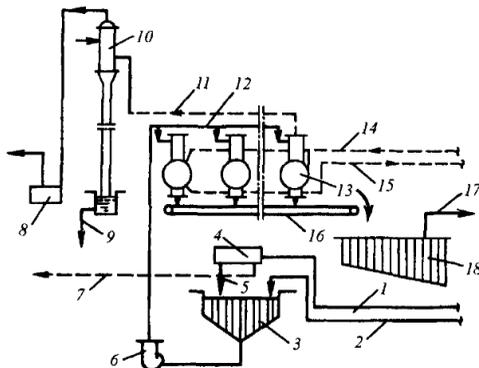
В последние годы широкое применение получили сушилки с подвижным слоем. В сушилке с фонтанирующим слоем влажный осадок с помощью питателя подается в сушильную камеру. Теплоноситель, поступающий в ее нижнюю часть через газораспределительную решетку, подхватывает частицы влажного осадка, увлекает их за собой и фонтаном отбрасывает к стенкам камеры. Частицы осадка сползают по боковым поверхностям конуса к решетке, где вновь подхватываются потоком теплоносителя. Таким образом происходит циркуляция осадка в сушильной камере. Высушенный осадок выгружается через разгрузочное устройство.

*Вакуумные сушилки* рекомендуется применять на станциях пропускной способностью до 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Можно проводить вакуум-сушку сырого осадка, активного ила или их смеси. Перед вакуум-сушкой надо снижать влажность осадка, например центрифугированием.

На рисунке 5.3 приведена технологическая схема вакуум-сушки осадков с предварительным центрифугированием уплотненного активного ила до влажности 70–80 %.

Рисунок 5.3 – Технологическая схема вакуум-сушки осадков:

1 – уплотненный избыточный активный ил; 2 – сырой осадок из первичных отстойников; 3 – резервуар-смеситель; 4 – центрифуга; 5 – центрифугированный активный ил; 6 – насос для подачи осадка в сушилку; 7 – фугат в аэротенки; 8 – вакуум-насос; 9 – конденсат вторичного пара; 10 – барометрический конденсатор; 11 – вторичный пар в конденсатор; 12 – исходный осадок в сушилки; 13 – вакуум-сушилки; 14 – пар от котельной; 15 – конденсат в котельную; 16 – конвейер сухого осадка; 17 – сухой осадок; 18 – бункер сухого осадка



Сырой осадок поступает в резервуар-смеситель из первичных отстойников. В сушильные аппараты поступает смесь осадков влажностью 90–92 % с помощью плунжерных насосов.

Обычно применяются барабанные вакуум-сушилки гребкового типа. После вакуум-сушки осадки имеют гранулированный вид с влажностью 30–40 %. Сушка осадка производится с помощью обогревающих рубашек с водяным паром с температурой насыщения 150 °С. Сушильные аппараты периодически заполняются осадком не более чем на половину рабочего объема. Затем включаются система обогрева сушилок и вакуум-насосы, создающие разрежение в аппарате. Вторичный пар, образующийся вследствие испарения воды осадка, поступает в барометрический конденсатор и оттуда в виде конденсата направляется на очистные сооружения. На малых установках для конденсации вторичного пара можно применять теплообменники. Концентрация загрязнений в конденсате вторичного пара определяется уносом загрязняющих веществ с конденсатом и наличием летучих органических веществ.

Температура осадка в процессе сушки изменяется от 50–85 °С (кипение) до 30–40 °С (в конце сушки). При температуре около 85 °С происходит дегельминтизация осадка. После окончания сушки вакуум отключается и сухой продукт выгружается на конвейер системой гребков реверсивного вращения.

Цикл вакуум-сушки осадков составляет 5–10 ч и зависит от исходной и конечной влажности осадков.

Термическая сушка жидких осадков требует большого расхода теплоты на испарение влаги. Она может быть экономически целесообразна для сушки относительно небольших объемов осадков. Для такой сушки обычно применяют распылительные сушилки и сушилки со взвешенным слоем при температуре теплоносителя не более 250 °С.

Расчет барабанных сушилок. При расчете сушилок рекомендуются параметры сушки:

- напряжение объема сушилки по испаряемой влаге –  $60 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч}$ ;
- удельный расход тепла на 1 кг испаряемой влаги –  $5\text{--}7 \text{ МДж}$ ;
- температура дымовых газов на входе в сушилку –  $600\text{--}800 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура дымовых газов на выходе из сушилки –  $170\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Влажность осадка составляет:

- поступающего –  $78\text{--}80 \%$ ;
- после сушки –  $30\text{--}40 \%$ .

Количество высушенного осадка, т/сут, определяется по формуле

$$W_{\text{в.о}} = \frac{W(100 - P_1)}{100 - P_2}, \quad (4.32)$$

где  $W$  – объем обезвоженного осадка поступающего на сушку, т/сут;

$P_1$  – влажность поступающего осадка, %;

$P_2$  – влажность высушенного осадка, %.

Количество влаги, подлежащее испарению в сушилке, т/сут,

$$W_{\text{вл}} = W - W_{\text{в.о}}. \quad (4.33)$$

Требуемый объем барабана сушилки, т/сут,

$$W_{\text{г.с}} = \frac{1000W_{\text{вл}}}{24 \cdot 60}. \quad (4.34)$$

где 24 – число часов работы отделения сушилки в сутки, ч;

60 – напряжение объема сушилки по испаряемой влаге,  $\text{кг/м}^3 \cdot \text{ч}$ .

По требуемому объему барабана сушилки подбирается сушилка по таблице 4.11.

**Таблица 4.11 – Основные типоразмеры барабанных сушилок**

Диаметр барабана, м	1,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	3,5
Длина барабана, м	3	10	12	14	16	18	20	27

Для хранения высушенного осадка проектируются иловые площадки, рассчитываемые на 3–4-месячное хранение.

## 6 ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Осадки городских сточных вод содержат значительное количество микроорганизмов (в том числе и патогенных), вирусов, яиц гельминтов, сальмонелл и поэтому являются опасными в санитарном и инфекционном отношении. В связи с этим осадки должны подвергаться обеззараживанию. Степень обеззараживания осадков контролируется по содержанию в них яиц гельминтов, патогенных и условно-патогенных бактерий, сальмонелл, энтеробактерий и кишечной палочки. При необходимости определяется содержание в осадках возбудителей различных заболеваний.

При использовании осадков в качестве удобрений в них не должно быть сальмонелл и жизнеспособных яиц гельминтов, число кишечных палочек не должно превышать  $10^4$ , а энтерококков –  $10^3$  кл/л.

Осадки могут обеззараживаться в жидком виде, после подсушивания на иловых площадках и после механического обезвоживания.

**Для обеззараживания и обезвреживания осадков могут использоваться методы:**

- термические (прогревание, сушка, сжигание);
- биотермические (компостирование);
- химические (обработка химическими веществами);
- биологические (уничтожение микроорганизмов простейшими, грибами и растениями грунта);

Помимо этого могут использоваться разнообразные виды физического воздействия: радиация, ток высокой частоты, ультразвук, ультрафиолетовое облучение. В наше время на практике используются в основном термические, биохимические, химические методы обеззараживания осадков, а также с применением инфракрасного излучения.

*Обеззараживание жидких осадков нагреванием* до температуры  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  при экспозиции в несколько минут обеспечивает гибель яиц гельминтов и отмирание патогенных микроорганизмов. При температурах  $52\text{--}56\text{ }^{\circ}\text{C}$  на протяжении 5 мин гибнет много патогенных бактерий, при температуре  $62\text{--}74\text{ }^{\circ}\text{C}$  и продолжительности экспозиции около 30 мин отмирают вирусы.

Чаще всего термическую стабилизацию осадков осуществляют в трубчатых теплообменниках, используя в качестве теплоносителя горячие газы или пар, или в устройствах типа аппаратов углубления горения. Однако следует учитывать, что стабилизация теряет смысл, если потом осадок долго не утилизируется, так как в нем могут повторно развиваться микроорганизмы, опасные в санитарном отношении.

*Химическое обеззараживание осадков* осуществляется в случае дальнейшего использования их в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения. Для химического обеззараживания осадков используется аммиак, тиазол, формальдегид и мочевины. Остаточное содержание в осадках на-

званных веществ предотвращает реактивацию патогенных микроорганизмов и поддерживает стабильность осадков.

За рубежом, в частности в США, большое распространение получила обработка осадков гашеной и негашеной известью, в результате чего достигается их стабилизация и обеззараживание, улучшается водоотдающая способность. Введение гашеной извести в осадок создает щелочную среду, что приводит к прекращению процессов гниения и к гибели яиц гельминтов. Продолжительность выдерживания осадка после обработки гашеной известью должна быть свыше 2 суток при начальном значении рН около 12,5. Более эффективным является использование негашеной извести, при смешении которой с осадком температура его возрастает до 55–70 °С за счет экзотермических реакций.

*Радиационный способ обеззараживания осадка* состоит в его обработке ускоренными электронами и гамма-излучением дозой в 1 Мрад и выше, что полностью уничтожает патогенные бактерии и яйца гельминтов. После такой обработки осадок может беспрепятственно использоваться как удобрение. При облучении необходимо создавать равномерный слой осадка толщиной, которая не превышает проникающую способность электронов.

*Дегельминтизация осадков*, т.е. уничтожение яиц гельминтов, осуществляется как в жидких, так и в механически обезвоженных осадках. Наиболее просто дегельминтизируют жидкие осадки: в них вводят острый пар и перемешивают всю массу осадка для прогревания до температуры 60–65 °С. Для дегельминтизации механически обезвоженных осадков применяется установка с газовыми горелками инфракрасного излучения (рисунок 6.1).

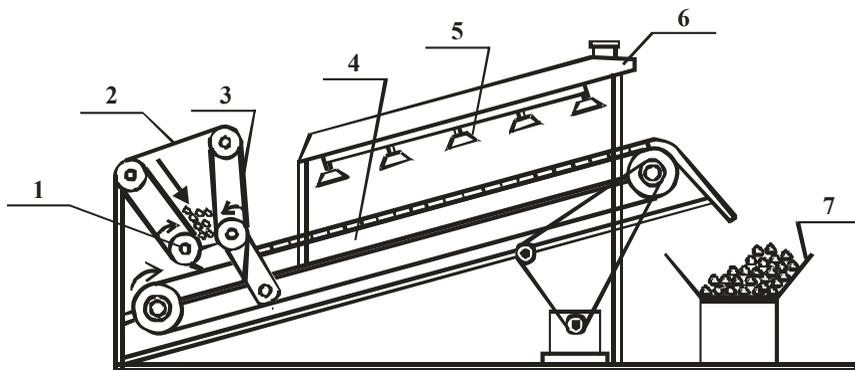


Рисунок 6.1 – Схема установки для дегельминтизации осадков:

- 1 – регулировочные валы; 2 – приемный бункер осадка; 3 – подвижные стенки бункера;
- 4 – металлическая лента конвейера; 5 – газовые горелки инфракрасного излучения; 6 – вытяжной зонтик; 7 – конвейер обработанного осадка

Она состоит из пластинчатого конвейера с приемочным бункером и газовых горелок инфракрасного излучения. В середине приемочного бункера есть специальные рамки, которые формируют на конвейере слой осадка толщиной 10–25 мм. Двигаясь на конвейере, осадок прогревается до 60 °С. Такие установки рекомендуется использовать на станциях пропускной способностью до 20–30 тыс. м<sup>3</sup>/сут сточных вод.

*Биотермическая обработка (компостирование осадков сточных вод).* Эффективность биотермического процесса зависит от физико-химического состава осадков, условий жизнедеятельности микроорганизмов, типа наполнителей, условий аэрации, гомогенизации и тепломассообмена. Разработаны технологические схемы биотермической обработки механически обезвоженных или подсушенных на иловых площадках осадков сточных вод в штабелях с наполнителями, в штабелях совместно с твердыми бытовыми отходами, в биобарабанах на мусороперерабатывающих заводах, в траншеях с перемешиванием, гомогенизацией и насыщением воздухом. В процессе биотермического разложения органических соединений осадков под действием микроорганизмов наблюдается переход от мезофильного к термофильному режиму, в связи с чем возрастают скорости биотермических реакций.

При осуществлении биотермического процесса в аэробных условиях компостирование осадка осуществляется с наполнителями: твердыми бытовыми отходами, тирсой, листьями, корой, сухим осадком сточных вод. Штабели компоста имеют высоту 1,5–3 м – при естественной и до 5 м при принудительной аэрации. Для формирования штабелей используют механизмы – краны, бульдозеры, экскаваторы. Для аэрации в основание укладывают перфорированные трубы диаметром 100–200 мм с отверстиями диаметром 5–10 мм. Расход воздуха составляет 10–25 м<sup>3</sup>/ч на 1 т органического вещества осадка. Для сбора поверхностного стока по контуру траншеи устраивают лотки.

Компостированную массу необходимо укрывать каким-либо материалом для теплоизоляции и предотвращения размножения мух. Продолжительность процесса компостирования в штабелях составляет 3–4 месяца. Компост получает вид сыпучего материала. Он содержит необходимые элементы для роста и развития растений, вещества, повышающие плодородность грунтов, полезную микрофлору.

При биотермической обработке смеси осадка сточных вод и твердых бытовых отходов последние перед компостированием подвергаются сортировке и измельчению, из них удаляются черные и цветные металлы. Если компостирование смеси твердых бытовых отходов и осадка осуществляется на мусороперерабатывающих заводах, то в этом случае могут использоваться специальные аппараты – ферменторы, биобарабаны, а также штабели с механизацией всех работ, связанные с эксплуатацией штабелей.

## 7 СЖИГАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Сжигание осадков осуществляют, если их утилизация невозможна или экономически нецелесообразна. Сжигание является рентабельным при обработке осадка от 7,5 тыс. т в год по сухому веществу [9].

Сжигание – это процесс окисления органической части осадков до нетоксичных газов (диоксид углерода, водяные пары и азот) и золы. Перед сжиганием осадки должны быть или механически обезвожены, или подвергнуты термической сушке, или пройти оба процесса.

Возможное присутствие в газах при сжигании осадков токсичных компонентов может вызвать серьезные трудности при очистке этих газов перед выбросом их в атмосферу. Процесс сжигания осадков состоит из следующих стадий: нагревание, сушка, отгонка летучих веществ, сжигание органической части и прокаливание для выгорания остатков углерода.

Возгорание осадка происходит при температуре 200–600 °С. Прокаливание зольной части осадка завершается его охлаждением. Температура в топке печи должна быть в пределах 700–1000 °С.

Для сжигания осадков наибольшее распространение получили многоподовые печи, печи кипящего слоя и барабанные вращающиеся печи.

**Многоподовые печи.** Корпус многоподовой печи представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Топочное пространство печи разделено по высоте на семь – девять горизонтальных подов. В центре печи имеется вертикальный вал, на котором укреплены горизонтальные фермы гребковых устройств. Каждый под имеет отверстия, расположенные у одного пода на периферии, а у другого – в центральной части.

Осадок подается конвейером через загрузочный люк в верхнюю камеру печи, перемещается гребками к пересыпному отверстию, сбрасывается на лежащий ниже под и т.д.

На верхних подах осадок сушится, на средних – органическая часть осадка сгорает при температуре 600–900 °С, а на нижних – охлаждается зола перед сбросом в бункер. Из печи газы отводятся в мокрый пылеуловитель и дымососом выбрасывается в атмосферу.

Многоподовые печи просты и надежны в эксплуатации. К их недостаткам относятся высокая строительная стоимость, большие габариты, частый выход из строя гребковых устройств.

**Печь кипящего слоя** представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Внутри печи имеется топочная камера, конусная часть с воздухораспределительной беспровальной решеткой и куполообразным сводом. На решетке насыпан песок крупностью 0,6–2,5 мм слоем 0,8–1 м. Кипящий слой песка создается при продувании воздуха через решетку со скоростью, при которой частицы

взвешиваются в газовом потоке. Воздух подается воздуходувкой, нагревается в рекуператоре дымовыми газами и подается под решетку. Осадок подается в печь через загрузочный бункер и шнековый питатель.

В кипящем слое происходит интенсивное перемешивание осадка с кварцевым песком, мгновенное испарение влаги и выделение летучих органических веществ. Весь процесс длится 1–2 мин.

Мелкая зола и пыль выносятся из печи потоком отходящих газов, поступающих в рекуператор (воздухоподогреватель). Для охлаждения отходящих газов между входом в рекуператор подается холодный воздух. Из рекуператора под давлением нагретый воздух, проходя с определенной скоростью через решетку, обеспечивает поддержание псевдоожиженного слоя.

Если при сгорании органической части осадка недостаточно собственной теплоты, то для поддержания процесса горения с помощью горелок сжигается дополнительное топливо. Дымовые газы, охлажденные в рекуператоре, проходят мокрую пылеочистку, освобождаются от золы и пыли и выбрасываются в атмосферу.

Достоинствами печей кипящего слоя являются компактность установок, интенсивность процесса, возможность сжигания осадков различной влажности; недостатками – большая запыленность отходящих газов и необходимость устройства рекуператоров.

**Барабанные вращающиеся печи** за рубежом применяют для сжигания осадков в смеси с городским мусором. В отличие от барабанной сушилки, барабан вращающейся печи наклонен в сторону топki. Обезвоженный осадок загружается с противоположного от топki конца барабана. По мере продвижения внутри барабана осадок сначала подсушивается, а затем сгорает. Горячая зола из топki поступает в воздушный охладитель и оттуда пневмотранспортом направляется в приемный бункер и вывозится. Отходящие газы отсасываются дымососом, проходят мокрый пылеуловитель и выбрасываются в атмосферу. Температура газов в зоне сушки 200 °С, а в зоне сжигания 900–1000 °С. В зоне сушки внутри барабана устроены насадки для перемешивания и дробления осадка.

Барабанные печи имеют небольшую запыленность отходящих газов и могут располагаться на открытом воздухе, кроме топочной части и камеры загрузки. Недостатками вращающихся барабанных печей являются громоздкость, большие капитальные затраты и относительная сложность эксплуатации.

**Циклонные печи** применяются относительно редко и служат для сжигания жидких или мелкодисперсных сухих материалов. Для сжигания осадков в циклонной печи необходима их предварительная термическая сушка и тщательное измельчение. Обычно установка с циклонными печами состоит из сушильного аппарата, измельчителя осадка, циклонной печи, камеры дедорации газов, мокрой пылеочистки дымососа, дымовой трубы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Алексеев, В.И.** Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий : учеб. пособие / В.И. Алексеев, Т.Е. Винокурова, Е.А. Пугачев – М. : АСВ, 2003. – 125 с.
- 2 **Воронов, Ю.В.** Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
- 3 **Гуляева, И.С.** Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений / И.С. Гуляева // Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 2. – С. 18–32.
- 4 **Ковалева, О.В.** Технология очистки городских сточных вод : учеб.-метод. пособие по выполнению курсового проекта. В 2 ч. Ч. 1. Механическая очистка / О.В. Ковалева, О. Б. Меженная. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 58 с.
- 5 **Меженная О. Б.** Технология очистки городских сточных вод: учеб.-метод. пособие по выполнению курсового проекта. В 2 ч. Ч. 2. Биологическая очистка / О. Б. Меженная, О. В. Ковалева. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 98 с.
- 6 Проектирование установок с фильтр-прессами для обезвоживания осадков сточных вод / ВНИИВОДГЕО.– М. : Стройиздат, 1990. – 56 с.
- 7 **ТКП 45-4.01-202-2010.** Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования. – Введ. 2010–06–07. – Мн. : М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2011. – 99 с.
- 8 **Туровский, И.С.** Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание / И.С. Туровский. – М. : ДеЛипринт, 2008. – 375 с.
- 9 Обработка осадка сточных вод: полезный опыт и практические советы. Издатель и авторское право 2012: Проект по городскому сокращению эвтрофикации (Project on Urban Reduction of Eutrophication, PURE) через Комиссию по окружающей среде Союза балтийских городов, Vanha Suurtori 7, 20500 Turku, Finland (Финляндия). – 125 с.

Учебное издание

*НОВИКОВА Ольга Константиновна*

ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Учебно-методическое пособие

Редактор *И. И. Эвентов*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 10.11.2012 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,82. Тираж 100 экз.

Зак. № \_\_\_\_\_. Изд. № 62.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель