

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
имени А. Н. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по проведению практических занятий,  
выполнению расчетно-графической работы и самостоятельной работе

по учебной дисциплине

**«ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ»**

*(для студентов 5 курса дневной и заочной форм обучения  
образовательного уровня «магистр»  
специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия,  
специализация (образовательная программа) «Водоснабжение и  
водоотведение»)*



**Харьков  
ХНУГХ им. А. М. Бекетова  
2016**

Методические указания по проведению практических занятий, выполнению расчетно-графической работы и самостоятельной работе по учебной дисциплине «Процессы и оборудование для обработки осадков» (для студентов 5 курса дневной и заочной форм обучения образовательного уровня «магистр» специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия, специализация (образовательная программа) «Водоснабжение и водоотведение») / Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. М. Бекетова ; сост. Е. Б. Сорокина. – Харьков : ХНУГХ им. А. М. Бекетова, 2016. – 72 с.

Составитель            канд. техн. наук **Е. Б. Сорокина**

#### **Рецензент**

**Т. А. Шевченко**, кандидат технических наук, доцент Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. М. Бекетова

*Утверждено на заседании кафедры водоснабжения, водоотведения и очистки вод, протокол № 1 от 27.08.2015 г.*

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД.....	5
2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД.....	7
2.1 Обработка грубых осадков, задерживаемых решетками.....	7
2.2 Обработка тяжелых минеральных осадков, задерживаемых песколовками.....	8
2.3 Обработка органических осадков, образующихся на очистных канализационных сооружениях.....	10
3 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ПРИРОДНЫХ ВОД.....	30
3.1 Определение количества осадков, образующихся на очистной станции водоснабжения.....	30
3.2 Определение объемов сооружений для работы станции водоподготовки по бессточной схеме.....	32
4 УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	34
5 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	35
5.1 Общие положения.....	35
5.2 Примеры расчетов сооружений.....	37
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	50
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	62
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	71

## ВВЕДЕНИЕ

В общей проблеме очистки сточных вод обработка осадков представляет собой наиболее сложный и еще окончательно не решенный вопрос. Если сточные воды после надлежащей очистки вновь возвращаются в кругооборот (в водоем или на повторное использование), то выделенные в процессе очистки осадки постоянно накапливаются, и проблема их размещения и удаления с каждым годом становится все более острой. В особенности это относится к органическим осадкам станций биологической очистки городских и производственных сточных вод, так как неорганический осадок обезвоживается, а затем увозится и складировается в специально отведенных местах.

Суммарный объем этих осадков составляет 0,6–1% общего объема очищаемых сточных вод при соотношении осадков первичных отстойников к избыточному активному илу (для городских сточных вод) 1:(0,8–2) по объему и 1:(0,1–1) по сухой массе.

В исходном виде осадки представляют собой источник загрязнения окружающей среды. Поэтому необходимо не только обеззараживать и обезвреживать осадки, но и решать вопросы удаления их с территории очистных сооружений и последующей утилизации.

*Цель обработки осадков сточных вод* – получение продукта, свойства которого обеспечивают возможность уменьшения его объема и утилизации, либо сведения к минимуму ущерба, наносимого окружающей среде.

В настоящих методических указаниях приведены основные положения методик проектирования и примеры расчетов сооружений по обработке осадков, используемые при изучении дисциплины «Процессы и оборудование для обработки осадков».

# 1 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В зависимости от типа сооружений, применяемых для очистки сточных вод, осадки подразделяются на следующие виды:

- грубодисперсные примеси (отбросы), задерживаемые решётками;
- тяжёлые примеси (песок), задерживаемые песколовками;
- плавающие примеси (жировые вещества), всплывающие в отстойниках;
- сырые осадки – оседающие взвешенные вещества, задерживаемые первичными отстойниками;
- активный ил, задерживаемый во вторичных отстойниках, - комплекс микроорганизмов коллоидного типа с частично окисленными загрязнениями, извлечёнными из сточных вод в процессе биологической очистки;
- избыточная биопленка после биологической очистки в биофильтрах;
- смеси осадков и илов.

Основная задача обработки осадков сточных вод заключается в получении конечного продукта, свойства которого обеспечивали бы возможность его утилизации либо сведения к минимуму ущерба, наносимого окружающей среде, и проводится с целью уменьшения объёма осадка и его обеззараживания.

Технологические процессы обработки осадков сточных вод можно разделить на следующие *основные стадии*: уплотнение (сгущение), стабилизация органической части, кондиционирование, обезвоживание, термическая обработка, утилизация ценных продуктов или ликвидация осадков. При уплотнении в среднем удаляется 60%, при мехобезвоживании 25%, при термической сушке и сжигании до 15% общего количества иловой воды, содержащейся в исходном осадке. При этом масса обрабатываемого осадка сокращается в среднем при уплотнении в 2,5 раза, при обезвоживании в 12,5 раз, при сушке – на 60%, а при сжигании – в 150 раз.

Технологический цикл обработки осадков сточных вод, включающий все виды обработки, ликвидации и утилизации, представлен на рисунке 1.1.

**Уплотнение осадков** сточных вод является первичной стадией их обработки и предназначено для уменьшения их объёмов. Наиболее распространены гравитационный и флотационный методы уплотнения. Гравитационное уплотнение осуществляется в отстойниках-уплотнителях; флотационное – в установках напорной флотации. Применяется также центробежное уплотнение осадков в циклонах и центрифугах. Перспективно вибрационное уплотнение путем фильтрования осадка сточных вод через фильтрующие перегородки или с помощью погруженных в осадок вибрационных устройств.

**Стабилизация осадков** используется для разрушения биологически разлагаемой части органического вещества, что предотвращает гниение осадков при длительном хранении на открытом воздухе (сушка на иловых площадках, использование в качестве сельскохозяйственных удобрений и т.п.).

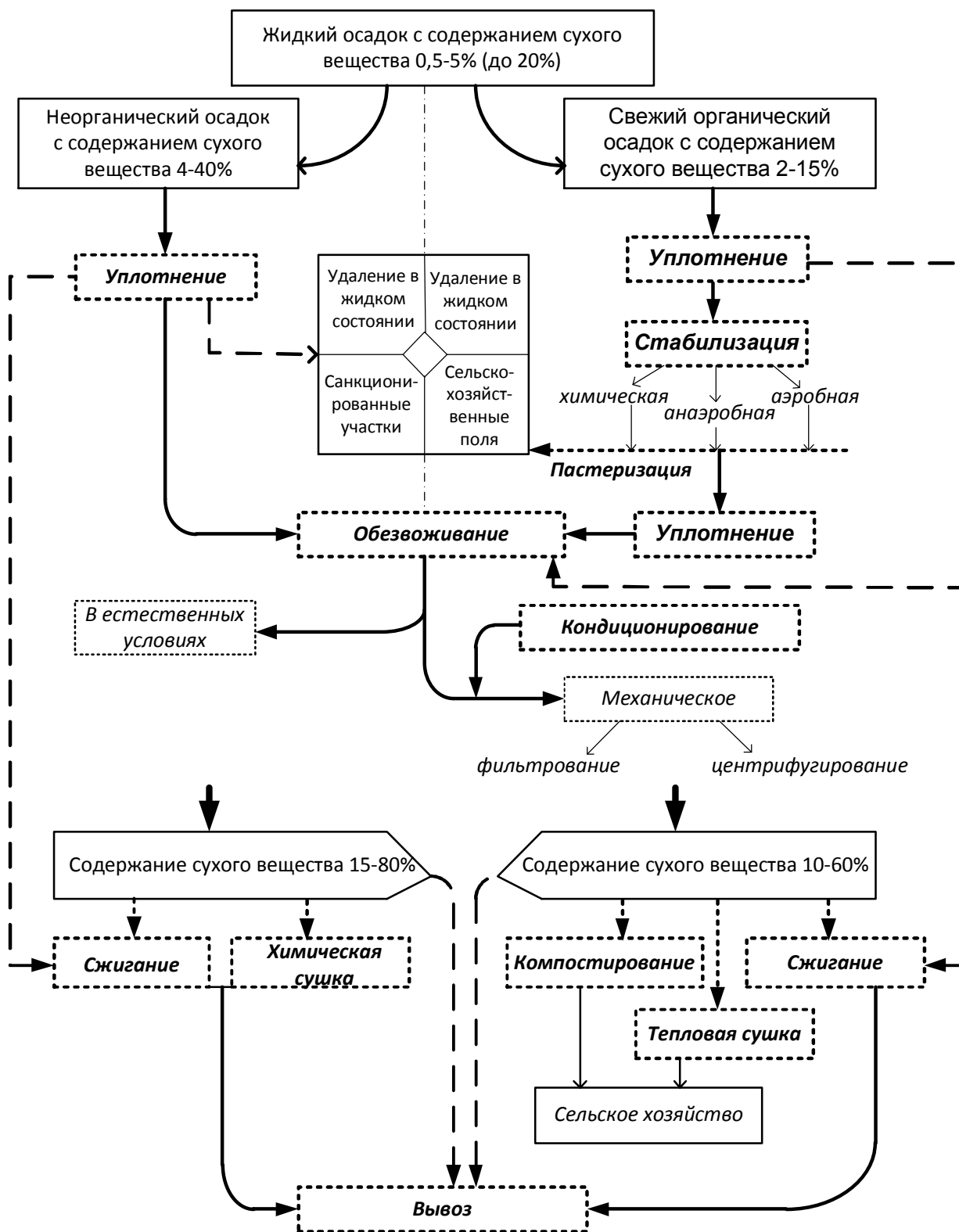


Рисунок 1.1 – Технологический цикл обработки осадков сточных вод

Стабилизация или минерализация органического вещества осадка может осуществляться в анаэробных условиях (метановое брожение) и в аэробных условиях. Для стабилизации осадков промышленных сточных вод применяют в основном аэробную стабилизацию – длительное аэрирование осадков в сооружениях типа аэротенков, в результате чего происходит распад основной

части биологически разлагаемых веществ, подверженных гниению. Период аэробной стабилизации при температуре 20°C составляет 8-11 суток, расход кислорода для стабилизации 1 кг органического вещества ила – 0,7 кг. Сбраживание осадка в метантенках в анаэробных условиях осуществляется в мезофильном (при t=33°C) или термофильном (при t=53°C) режимах, что определяется способом дальнейшей обработки осадка.

**Кондиционирование осадков** проводят для разрушения коллоидной структуры осадка органического происхождения и увеличения их водоотдачи при обезвоживании. Применяют в основном реагентный метод кондиционирования.

**Обезвоживание осадков** сточных вод предназначено для получения осадка (кека) влажностью 50-80%. До недавнего времени обезвоживание осуществлялось в основном сушкой осадков на иловых площадках. Однако низкая эффективность такого процесса, дефицит земельных участков в промышленных районах и загрязнение воздушной среды обусловили разработку и применение более эффективных методов обезвоживания: вакуум-фильтрование, центрифугирование, фильтрпрессование, термическая сушка.

**Ликвидация осадков** сточных вод применяется в тех случаях, когда утилизация их является невозможной или экономически нецелесообразной.

Выбор рациональной технологической схемы обработки осадка является сложной инженерно-экономической и экологической задачей, но в любом случае технологическая схема строится на комбинации различных методов обработки осадков, так как технологические схемы обработки осадков зависят от многих факторов: свойств осадков, их количества, климатических условий, наличия земельных площадей и пр.

## **2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

### **2.1 Обработка грубых осадков, задерживаемых решетками**

Решетки применяют для задержания из сточных вод крупных загрязнений и являются сооружениями, подготовляющими сточные воды к дальнейшей, более полной очистке.

В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения. По данным эксплуатации очистных станций средний состав этих отбросов в процентах включает бумагу – 65, тряпье – 25, древесину, пластик – 4, другие отбросы – 6.

Прозоры между стержнями решеток должны быть возможно меньшими, чтобы задерживать как можно больше грубых примесей для облегчения работы отстойников.

Задержанные отбросы могут подвергаться дроблению с последующим выпуском их в канал перед решеткой. Переработка этих отбросов может осуществляться в метантенках, на пиролизных установках вместе с другими

осадками, а также путем компостирования для получения удобрения вместе с мусором.

Количество загрязнений, задерживаемых решетками, составляет

$$W_{\text{сут.}}^p = \frac{N_{\text{пр}} \cdot q_{\text{отбр}}}{365 \cdot 1000}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (2.1)$$

где  $q_{\text{отбр}}$  – удельное количество отбросов, зависящее от ширины прозоров решетки, л/(год·чел), принимается по таблице 18 [1] (*прил. А*);

$N_{\text{пр}}$  – приведенное число жителей, чел.

Плотность и влажность отходов следует определять по паспортным данным изготовителей применяемого оборудования. При отсутствии данных допускается принимать (п. 10.2.1.6 [1]):

– плотность отходов до обезвоживания – 870 кг/м<sup>3</sup>, после обезвоживания – 690 кг/м<sup>3</sup>;

– влажность отходов до обезвоживания – 90%, после обезвоживания – 70% (до 50%);

– зольность отходов – 7-8%.

Масса задерживаемых отбросов равна

$$M_{\text{отбр.}} = \frac{\rho_{\text{отбр.}} \cdot W_{\text{сут.}}^p}{1000}, \text{ т/сут.}; \quad (2.2)$$

где  $\rho_{\text{отбр.}}$  – плотность отходов, кг/м<sup>3</sup>;

$$M'_{\text{отбр.}} = \frac{1000 \cdot M_{\text{отбр.}} \cdot K}{24}, \text{ кг/ч}, \quad (2.3)$$

где  $K$  – коэффициент неравномерности поступления отбросов, равный 2.

Для уплотнения, прессования и передачи в накопительную емкость или на транспортер отбросов, снимаемых с канализационных сороудерживающих устройств, могут быть использованы прессы винтовые отжимные.

Пресс может работать как в непрерывном режиме, так и периодически в составе технологических линий очистных сооружений, обеспечивая улучшение санитарно-гигиенических условий и уменьшение в 4-5 раз объемов вывозимых отбросов к местам складирования.

## **2.2 Обработка тяжелых минеральных осадков, задерживаемых песколовками**

Песколовки предназначены для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей и проектируются перед отстойниками.

В состав тяжелых осадков обычно входит главным образом песок, а также обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т. п.

Применение песколовок обусловлено тем, что при совместном выделении



в отстойниках минеральных и органических примесей возникают значительные затруднения при удалении осадка из отстойников и дальнейшей его стабилизации.

Суточный объем осадка, накапливаемого в песколовках, равен

$$W_{\text{сут.}}^{\text{п}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot q_{\text{ос}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (2.4)$$

где  $q_{\text{ос}}$  – удельное количество песка, накапливаемого в песколовках, л/сут.чел., принимается по таблице 20 [1] (прил. Б) в зависимости от типа песколовков.

Годовой объем песка, задерживаемого в песколовках

$$W_{\text{год.}}^{\text{п}} = \frac{365 \cdot N_{\text{пр}} \cdot q_{\text{ос}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.5)$$

Объемный вес осадка, задерживаемого песколовками, составляет  $\rho_{\text{п}} = 1500 \text{ кг/м}^3$ .

Масса задерживаемого осадка может быть определена по формуле

$$M_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{п}} \cdot W_{\text{сут.}}^{\text{п}}}{1000}, \text{ т/сут.} \quad (2.6)$$

Откачка накопленного в бункерах песколовков осадка производится песковыми насосами, гидроэлеваторами, шнековыми подъемниками и резе эрлифтами. Откачанный садок (пескопульпа) имеет большую влажность – 98–99%, что вызывает необходимость его обезвоживания.

Для обезвоживания и подсушивания осадка на больших станциях очистки сточных вод предусматривают *песковые площадки*, представляющие собой карты с ограждающими валиками высотой 1–2 м, оборудованные шахтными водосбросами для отвода отстоявшейся воды. Удаляемая вода направляется в голову сооружений.

Рабочая площадь песковых площадок зависит от нагрузки на них и равна

$$S_{\text{р}} = \frac{W_{\text{год.}}^{\text{п}}}{h_{\text{год.}}^{\text{п}}}, \text{ м}^2, \quad (2.7)$$

где  $h_{\text{год.}}^{\text{п}}$  – годовая нагрузка на площадки, равная не более  $3 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{-год}$ .

Общая площадь песковых площадок

$$S_{\text{общ}} = (1,2 \dots 1,3) \cdot S_{\text{р}}, \text{ м}^2. \quad (2.8)$$

Количество площадок – не менее двух.

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

Такие бункеры рассчитывают на 1,5–5 суточное хранение песка. Для повышения эффективности отмывки песка применяют напорные гидроциклоны

диаметром 300 мм. Дренажная вода из бункеров и площадок возвращается в канал перед песколовками.

Необходимый объем бункеров

$$W_{\text{б}}^{\text{п}} = W_{\text{сут.}}^{\text{п}} \cdot T, \text{ м}^3, \quad (2.9)$$

где  $T$  – продолжительность хранения песка в бункере, равная 1,5-5 сут.

Объем одного бункера

$$w_{\text{1б}}^{\text{п}} = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ D^3 + \frac{D}{3} \cdot (D^2 + D + 1) \right], \text{ м}^3, \quad (2.10)$$

где  $D$  – диаметр бункера, равный 1,5-2 м.

Количество бункеров

$$n_{\text{б}} = \frac{W_{\text{б}}^{\text{п}}}{w_{\text{1б}}^{\text{п}}}. \quad (2.11)$$

Количество бункеров должно быть не менее двух.

## 2.3 Обработка органических осадков, образующихся на очистных канализационных сооружениях

### 2.3.1 Определение количества осадков

Концентрация загрязнений в хозяйственно-бытовых сточных водах определяется следующим образом:

$$C_i^{\text{х/б}} = \frac{C_i \cdot 1000}{q_{\text{макс}}^{\text{сут}}}, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.12)$$

где  $C_i$  – количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сут., определяют по таблице 16 [1] (*прил. В*);

$q_{\text{макс}}^{\text{сут}}$  – норма водопотребления в населенном пункте, л/сут.·чел.

Если на рассматриваемые очистные сооружения поступает смесь бытовых и производственных сточных вод, общий расход очищаемых сточных вод равен

$$Q_{\text{mid}} = Q_{\text{mid}}^{\text{х/б}} + Q_{\text{mid}}^{\text{пп}} \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2.13)$$

Концентрация загрязнений смеси сточных вод составит

$$C_i = \frac{(C_i^{\text{х/б}} \cdot Q_{\text{mid}}^{\text{х/б}} + C_i^{\text{пн}} \cdot Q_{\text{mid}}^{\text{пн}})}{Q_{\text{mid}}}, \text{ мг/дм}^3. \quad (2.14)$$

Количество осадка, выделяемого при отстаивании за сутки в первичных отстойниках, по сухому веществу

$$Q_{\text{сух}} = \frac{C_{\text{ен}} \cdot \text{Э} \cdot K}{10^6} \cdot Q_{\text{mid}}, \text{ т/сут.}, \quad (2.15)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет

крупных фракций взвеси, не улавливаемых при отборе проб;  $K=1,1-1,2$ .

Расход избыточного активного ила (по сухому веществу) равен

$$I_{\text{сух}} = \left[ \frac{0,8 \cdot C_{\text{ен}} \cdot (1 - \varepsilon) + \alpha \cdot (L_a - b)}{10^6} \right] \cdot Q_{\text{mid}}, \text{ т/сут.}, \quad (2.16)$$

где  $\alpha$  – коэффициент прироста активного ила;  $\alpha=0,3-0,5$ ;

$b$  – вынос активного ила из вторичных отстойников, мг/л;

$L_a$  – БПК<sub>полн</sub> сточных вод после осветления мгО<sub>2</sub>/л.

Расход осадка и избыточного активного ила по беззольному веществу равен

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}} \cdot (100 - P_g) \cdot (100 - S_{\text{mud}})}{100 \cdot 100}, \text{ т/сут.}; \quad (2.17)$$

$$I_{\text{без}} = \frac{I_{\text{сух}} \cdot (100 - P'_g) \cdot (100 - S_{a \text{ mud}})}{100 \cdot 100}, \text{ т/сут.}, \quad (2.18)$$

где  $P_g, P'_g$  – гигроскопическая влажность сырого осадка и избыточного активного ила; принимается равной 5-6%;

$S_{\text{mud}}, S_{a \text{ mud}}$  – зольность сухого вещества осадка и ила;

$S_{\text{mud}} = 27\%$ ,  $S_{a \text{ mud}} = 25\%$ .

Объем сырого осадка и избыточного активного ила определяется из выражений

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot Q_{\text{сух}}}{(100 - P_{\text{ос}}) \cdot \rho_{\text{ос}}}, \text{ м}^3/\text{сут.}; \quad (2.19)$$

$$V_{\text{ил}} = \frac{100 \cdot I_{\text{сух}}}{(100 - P_{\text{ил}}) \cdot \rho_{a \text{ mud}}}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (2.20)$$

где  $P_{\text{ос}}$  – влажность сырого осадка, %; принимается равной 93-95%;

$P_{\text{ил}}$  – влажность активного ила, %; принимается равной для неуплотненного ила 99,2-99,7%, для уплотненного – 97-98%;

$\rho_{\text{ос}}, \rho_{a \text{ mud}}$  – плотность осадка и активного ила, т/м<sup>3</sup>; для практических расчетов может быть принята равной 1 т/м<sup>3</sup>.

Общий расход сырого осадка и избыточного активного ила на станции равен:

по сухому веществу

$$M_{\text{сух}} = Q_{\text{сух}} + I_{\text{сух}}, \text{ т/сут.}; \quad (2.21)$$

по сухому беззольному веществу

$$M_{\text{без}} = Q_{\text{без}} + I_{\text{без}}, \text{ т/сут.}; \quad (2.22)$$

по расходу смеси фактической влажности

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2.23)$$

Средняя влажность смеси равна

$$P_{\text{ср}} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{M_{\text{сух}}}{V_{\text{общ}}} \right), \% \quad (2.24)$$

Средняя зольность

$$Z_{\text{см}} = 100 \cdot \left[ 1 - \frac{M_{\text{без}}}{Q_{\text{сух}} \cdot (100 - P_g) / 100 + I_{\text{сух}} \cdot (100 - P'_g) / 100} \right], \% \quad (2.25)$$

### 2.3.2 Уплотнение осадков сточных вод

При проектировании радиальных и вертикальных гравитационных илоуплотнителей надлежит принимать:

- выпуск уплотненного осадка под гидростатическим напором не менее 1 м;
- илососы и илоскребы для удаления осадка;
- подачу иловой воды из уплотнителей в аэротенки;
- количество илоуплотнителей не менее двух, причем оба рабочие.

При проектировании радиальных илоуплотнителей принимают: высоту зоны осветленной иловой воды – 0,4-0,6 м; высоту нейтрального слоя – 0,3-0,5 м; высоту зоны уплотненного осадка и размещения скребков – 0,3 м (при использовании илососов ее увеличивают до 0,7 м).

В качестве илоуплотнителей принимают вертикальные или радиальные отстойники, основные параметры которых приведены в приложениях Д, Е.

Илоуплотнители рассчитывают на максимальный часовой приток избыточного активного ила, который может быть определен по формуле

$$Q_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot Q_{\text{mid}}}{24 \cdot C}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.26)$$

где  $P_{\text{max}}$  – максимальный прирост ила с учетом сезонной неравномерности, г/м<sup>3</sup>, равный

$$P_{\text{max}} = K_m \cdot P_i, \text{ г/м}^3, \quad (2.27)$$

где  $K_m$  – коэффициент сезонной неравномерности прироста ила, равный 1,3;

$P_i$  – прирост ила, определяемый в зависимости от степени очистки сточных вод

$$P_i = 0,8 \cdot C_{\text{cdp}} + K_g \cdot L_a, \text{ г/м}^3, \quad (2.28)$$

где  $C_{\text{cdp}}$  – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк из первичного отстойника, мг/л;

$K_g$  – коэффициент прироста; для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод  $K_g=0,3$ ; при очистке сточных вод в окситенках величина  $K_g$  снижается до 0,25;

$L_a$  – БПКполн сточных вод, поступающих в аэротенки, мг/л;

$C$  – концентрация избыточного активного ила, поступающего в илоуплотнители; при влажности  $P_{en}=99,6\%$   $C=4000$  г/м<sup>3</sup>.

Данные для расчета *гравитационных илоуплотнителей* необходимо принимать по *приложению Г*.

Вертикальные илоуплотнители, устраиваемые на базе обычных первичных вертикальных отстойников с центральной трубой, применяют на станциях небольшой производительности (ориентировочно до 20000 м<sup>3</sup>/сут.).

Для вертикальных илоуплотнителей высота проточной части равна

$$h = 3,6 \cdot V \cdot t, \text{ м}, \quad (2.29)$$

где  $V$  – скорость движения жидкости, мм/с; принимается по *приложению Г*;

$t$  – продолжительность уплотнения, ч.; принимается по *приложению Г*.

Полезная площадь поперечного сечения илоуплотнителя равна

$$F_{\text{пол}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{3,6 \cdot V_{\text{о.з.}}}, \text{ м}^2, \quad (2.30)$$

где  $Q_{\text{ж}}$  – максимальный расход жидкости, отделяемой в процессе уплотнения ила за 1 час, м<sup>3</sup>/ч:

$$Q_{\text{ж}} = Q_{\text{max}} \cdot \frac{P_{en} - P_{ex}}{100 - P_{ex}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.31)$$

где  $P_{en}$  – влажность поступающего ила, %;

$P_{ex}$  – влажность уплотненного ила, %; принимается по *приложению Г*;

$V_{\text{о.з.}}$  – скорость движения жидкости в отстойной зоне вертикального илоуплотнителя, мм/с; принимается по *приложению Г*.

Площадь поперечного сечения центральной трубы равна

$$f_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{max}}}{3600 \cdot V_{\text{ц.тр.}}}, \text{ м}^2, \quad (2.32)$$

где  $V_{\text{ц.тр.}}$  – скорость движения жидкости в вертикальной трубе, м/с;

$V_{\text{ц.тр.}}$  принимается 0,1 м/с.

Общая площадь илоуплотнителя равна

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{пол}} + f_{\text{тр}}, \text{ м}^2. \quad (2.33)$$

Диаметр одного уплотнителя

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{общ}}}{\pi \cdot n}}, \text{ м}, \quad (2.34)$$

где  $n$  – количество илоуплотнителей.

Продолжительность уплотнения избыточного активного ила определяется по формуле

$$T = \frac{h'}{3,6 \cdot V_{3.0.}}, \text{ ч.}, \quad (2.35)$$

где  $h'$  – расчетная глубина проточной части типового илоуплотнителя, м.

Время уплотнения ила в вертикальных отстойниках составляет 10-15 ч. (прил. Г).

Продолжительность хранения уплотненного ила в иловой части илоуплотнителя равна

$$T_{\text{ил}} = \frac{W_{\text{ил}} \cdot n}{q_y}, \text{ ч.}, \quad (2.36)$$

где  $W_{\text{ил}}$  – объем иловой (конической) части типового отстойника,  $\text{м}^3$ ; (прил. Д);

$q_y$  – часовой расход уплотненного ила,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$q_y = q_{\text{max}} \cdot \frac{100 - P_{\text{en}}}{100 - P_{\text{ex}}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2.37)$$

Полученное значение  $T_{\text{ил}}$  должно соответствовать рекомендуемому времени уплотнения.

**Для радиальных илоуплотнителей** необходимый объем илоуплотнителя равен

$$W = q_{\text{max}} \cdot T, \text{ м}^3. \quad (2.38)$$

(Продолжительность уплотнения  $T$  принимают по *приложению Г*).

Количество илоуплотнителей равно

$$n = \frac{W}{W_{3.0.}}. \quad (2.39)$$

Нагрузка на зеркало илоуплотнителя равна

$$q_0 = \frac{q_{\text{max}}}{n \cdot \pi \cdot R^2}, \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}, \quad (2.40)$$

где  $R$  – радиус отстойника, м.

Нагрузка должна находиться в пределах допустимой для радиальных илоуплотнителей ( $q_0 = 0,2-0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ).

Определяют расчетный расход уплотненного ила при его влажности 97,3% по формуле (2.37) и максимальный объем жидкости, отделяющейся в процессе уплотнения по формуле (2.31).

### 2.3.3 Стабилизация осадков

Одним из основных методов обезвреживания осадков сточных вод является **анаэробное сбраживание**, осуществляемое микроорганизмами, способными окислять органические вещества осадков без доступа воздуха.

Для анаэробного сбраживания осадков городских сточных вод применяют *метантенки* с целью стабилизации и получения метансодержащего

газа брожения. При этом учитывается состав осадка, наличие веществ, тормозящих процесс сбраживания и влияющих на выход газа.

Для сбраживания осадков в метантенках принимается *мезофильный* ( $t=33^{\circ}\text{C}$ ) или *термофильный* ( $t=53^{\circ}\text{C}$ ) режим. Выбор режима сбраживания следует производить с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований.

Для поддержания требуемого режима сбраживания необходимо предусматривать:

- равномерную загрузку осадка в метантенки в течение суток;
- обогрев острым паром, выпускаемым через эжекторные устройства или подаваемым в теплообменные аппараты.

Необходимое количество тепла следует определять с учетом теплотерь в окружающую среду.

При проектировании метантенков надлежит предусматривать:

- мероприятия по взрывопожарной безопасности оборудования и обслуживающих помещений;
- количество метантенков не менее двух, оба рабочие;
- отношение диаметра метантенка к его высоте  $H$  (от днища до основания газосборной горловины) не более 0,8-1;
- расположение статического уровня осадка на 0,2-0,3 м выше основания горловины, а верх – на 1-1,5 м выше динамического уровня осадка;
- площадь газосборной горловины из условия пропуска 600-800 м<sup>3</sup> газа в сутки на 1 м<sup>3</sup> площади;
- расположение открытых концов труб для отвода газа из газового колпака на высоте не менее 2 м от динамического уровня;
- загрузку осадка в верхнюю зону метантенка и выгрузку из нижней зоны;
- систему опорожнения резервуаров метантенков – с возможностью подачи осадка из нижней зоны в верхнюю;
- переключения, обеспечивающие возможность промывки всех трубопроводов;
- перемешивающие устройства, рассчитанные на пропуск всего объема бродящей массы в течение 5-10 ч.;
- герметически закрывающиеся люки, лазы, смотровые люки;
- расстояния от метантенков до основных сооружений станции, внутриплощадочных автомобильных дорог и железнодорожных путей – не менее 20 м, до высоковольтных линий – не менее 1,5 высоты опоры;
- ограждение территории метантенков.

Определение вместимости метантенков производят в зависимости от фактической влажности осадка по суточной дозе загрузки (*прил. Л*); для осадков производственных сточных вод – на основании экспериментальных данных.

При наличии в сточных водах ПАВ принятую суточную дозу загрузки следует проверять по формуле

$$D_{mt} = \frac{10 \cdot D_{lim}}{C_{dt} \cdot (100 - P_{mud})}, \% \quad (2.41)$$

где  $D_{lim}$  – предельно допустимая загрузка рабочего объема метантенка в сутки, г/м<sup>3</sup>, принимаемая равной:

40 – для алкилбензолсульфатов с прямой алкильной цепью;

85 – для других «мягких» и промежуточных анионных ПАВ;

65 – для анионных ПАВ в бытовых стоках;

$C_{dt}$  – содержание ПАВ в осадке, мг/г сухого вещества осадка, принимается по экспериментальным данным;

$P_{mud}$  – влажность загружаемого осадка, %.

Если вычисленная суточная доза  $D_{mt}$  окажется менее указанной в *приложении Ж*, то объем метантенка следует определять по полученному значению; если равной или превышающей указанную – по табличным данным.

Влажность осадка, выгружаемого из метантенка, следует принимать в зависимости от загружаемых компонентов по сухому веществу с учетом распада беззольного вещества.

Распад беззольного вещества загружаемого осадка в зависимости от дозы загрузки определяется по формуле

$$R_r = R_{lim} - K_r \cdot D_{mt}, \% \quad (2.42)$$

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

$$R_{lim} = \left( 0,92 \cdot C_{fat} + 0,62 \cdot C_{gl} + 0,34 \cdot C_{prt} \right) \cdot 100, \% \quad (2.43)$$

где  $C_{fat}, C_{gl}, C_{prt}$  – соответственно содержание жиров, углеводов и белков в 1 г беззольного вещества осадка, определяемое анализом;

$K_r$  – коэффициент, зависящий от влажности осадка (*прил. И*).

При отсутствии данных о химическом составе осадка величину  $R_{lim}$  допускается принимать:

– для осадков из первичных отстойников –  $R_{lim.ос} = 53\%$ ;

– для избыточного активного ила –  $R_{lim.ил} = 44\%$ ;

– для смеси осадка с активным илом – по среднеарифметическому соотношению смешиваемых компонентов по беззольному веществу:

$$R_{lim} = \frac{R_{lim.ос} \cdot Q_{без} + R_{lim.ил} \cdot I_{без}}{M_{без}}, \% \quad (2.44)$$

Расчетный объем метантенков равен

$$V_{mt} = \frac{V_{общ.} \cdot 100}{D_{mt}}, м^3 \quad (2.45)$$

К установке следует принимать стальные метантенки полезным объемом



1100 – 2500 – 5000 – 9000 м<sup>3</sup> или железобетонные, конструктивные размеры которых приведены в *приложении К*.

Фактический объем метантанков как правило оказывается несколько больше или меньше требуемого, в связи с чем фактическая доза загрузки соответственно понижается или повышается до значения

$$D'_{mt} = \frac{V_{\text{общ}} \cdot 100}{V_{\text{факт.}}}_{mt}, \% \quad (2.46)$$

Количество распавшегося беззольного вещества равно

$$M_{\text{расп}} = M_{\text{без}} \cdot R_r, \text{ т.} \quad (2.47)$$

Распад беззольных веществ приводит к уменьшению массы сухого вещества и увеличению влажности осадка, причем суммарный объем смеси после сбраживания практически не меняется.

Масса беззольного вещества сброженного осадка рассчитывается по формуле

$$M'_{\text{без}} = \frac{M_{\text{без}} \cdot (100 - R_r)}{100}, \text{ т/сут.} \quad (2.48)$$

Масса сухого вещества в сброженной смеси

$$M'_{\text{сух}} = (M_{\text{сух}} - M_{\text{без}}) + M'_{\text{без}}, \text{ т/сут.} \quad (2.49)$$

Разность  $(M_{\text{сух}} - M_{\text{без}})$  представляет собой зольную часть, не изменившуюся в процессе сбраживания.

Влажность сброженной смеси определяется по формуле

$$P'_{\text{см}} = 100 - \frac{M'_{\text{сух}}}{V_{\text{общ}}} \cdot 100, \% \quad (2.50)$$

Зольность сброженной смеси

$$Z'_{\text{см}} = 100 - \frac{M'_{\text{без}} \cdot 10000}{M'_{\text{сух}} \cdot (100 - P''_g)}, \% \quad (2.51)$$

где  $P''_g$  – гигроскопическая влажность сброженной смеси, равная 6%.

Для *приема газа из метантанков* используют мокрые *газгольдеры*, каждый из которых состоит из резервуара, заполненного водой, и колокола, перемещающегося на роликах по направляющим. Вес колокола уравнивается противодействием газа. Благодаря этому при изменении объема газа под колоколом давление в газгольдере и газовой сети остается постоянным.

Расстояние от газгольдера до котельной и других помещений должно быть не менее 30 м и не менее высоты дымовой трубы, до внутриплощадочных дорог – не менее 20 м, расстояние между газгольдерами – не менее 1/2 суммы их диаметров.

Весовое количество газа, получаемого при сбраживании, надлежит принимать 1 г на 1 г распавшегося беззольного вещества загружаемого осадка. Объемный вес газа  $\rho_{\Gamma} = 1 \text{ кг/м}^3$ , теплотворная способность  $5000 \text{ ккал/м}^3$ .

Удельный выход газа

$$\Gamma_{\text{уд}} = \frac{R_{\Gamma}}{100 \cdot \rho_{\Gamma}}, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2.52)$$

Суммарный выход газа

$$\Gamma = \frac{R_{\Gamma} \cdot M_{\text{без}} \cdot 1000}{100}, \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (2.53)$$

Съем газа с одного метантенка в сутки

$$\Gamma_{\text{mt}} = \frac{\Gamma}{n_{\text{mt}}}, \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (2.54)$$

Применяют типовые газгольдеры, основные данные которых приведены в *приложении Л*.

Вместимость газгольдеров рассчитывают на 2-4-часовой выход газа ( $T_{\Gamma}$ ); давление газа под колпаком 1,5-2,5 кПа (150-250 мм вод. Ст.).

Вместимость газгольдеров равна

$$V_{\Gamma} = \frac{\Gamma \cdot T_{\Gamma}}{24}, \text{ м}^3. \quad (2.55)$$

Газ, получаемый в метантенках в результате процесса сбраживания осадка, используется на энергетические нужды канализационных станций:

- 1) непосредственно в качестве горючего в котлах с газовыми горелками, для обогрева метантенков и отопления зданий очистных станций и поселков при них. Этот способ использования газов является самым распространенным;
- 2) в газовых двигателях, приводящих в движение генератор, насосы и воздухоудовки.

Целесообразно использовать биогаз для создания необходимых условий сбраживания в метантенках.

Расход тепла на обогрев свежего осадка в метантенках определяется по формуле

$$G_{\text{об}} = (1 + K) \cdot V_{\text{общ}} \cdot C_T \cdot (t_{\text{сб}} - t_{\text{вк}}) \cdot 1000, \text{ ккал/сут}, \quad (2.56)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий потери тепла через стенки, днище и перекрытие метантенков; при емкости метантенка более  $1100 \text{ м}^3$   $K=0,1$ ;

$C_T$  – теплоемкость осадка,  $4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;

$t_{\text{сб}}$  – температура в метантенке, зависящая от выбранного режима сбраживания,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{вк}}$  – температура поступающего осадка,  $^{\circ}\text{C}$ .

Принимается охлаждение осадка за сутки на  $1^{\circ}\text{C}$ . Компенсация теплотерей всего объема равна (за вычетом добавления свежего осадка)

$$G_{\text{ох}} = \left( V_{\text{мт}}^{\text{факт}} - V_{\text{общ}} \right) \cdot 1000 \cdot 1, \text{ ккал/сут.} \quad (2.57)$$

Тогда общее необходимое количество тепла

$$G_{\text{Т}} = G_{\text{об}} + G_{\text{ох}}, \text{ ккал/сут.} \quad (2.58)$$

Требуемая расчетная теплопроизводительность котельной установки с учетом КПД определяется по формуле

$$G_{\text{расч}} = \frac{G_{\text{Т}}}{\eta}, \text{ ккал/сут,} \quad (2.59)$$

где  $\eta$  – КПД котельной установки, принимается равным 0,7–0,8.

Необходимое расчетное количество пара при теплоотдаче 1 кг пара 550 ккал составит

$$G_{\text{п}} = \frac{G_{\text{расч}}}{550}, \text{ т/сут.} \quad (2.60)$$

Количество тепла, выделяемого при сжигании биогаза, при теплопроводной способности газа 5000 ккал/м<sup>3</sup> составит

$$G'_{\text{Т}} = \Gamma \cdot 5000, \text{ ккал/сут.} \quad (2.61)$$

Сравнивая значения  $G_{\text{расч}}$  и  $G'_{\text{Т}}$  можно сделать вывод о возможности в данном случае компенсации затрат на поддержание необходимых условий сбраживания в метантенках за счет получения тепла при сжигании биогаза, образующегося при сбраживании осадка.

Метод *аэробной стабилизации* осадков заключается в длительном аэрировании их, в результате которого происходит распад органических беззольных веществ осадка, а оставшиеся органические вещества являются стабильными, т.е. неспособными к загниванию.

На аэробную стабилизацию допускается направлять неуплотненный или уплотненный в течение 5 ч. активный ил, а также смесь его с сырым осадком.

Уплотненный активный ил или смесь его с осадком первичных отстойников нерационально подвергать аэробной стабилизации, так как это приводит к резкому увеличению удельного сопротивления осадка.

При аэробной стабилизации происходит гибель бактерий coli более, чем на 95%, но яйца гельминтов при этом не погибают, поэтому осадки после аэробной стабилизации необходимо обеззараживать.

Для аэробной стабилизации следует предусматривать сооружения типа коридорных аэротенков.

Продолжительность аэрации при температуре 20°C надлежит принимать:

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

При более высокой температуре осадка продолжительность аэробной стабилизации надлежит уменьшать, а при меньшей – увеличивать. При изменении температуры на 10°C продолжительность стабилизации соответственно изменяется в 2-2,2 раза.

Аэробная стабилизация осадка может осуществляться в диапазоне температур 8-35°C.

Для осадков производственных сточных вод продолжительность процесса надлежит определять экспериментально.

Расход воздуха на аэробную стабилизацию следует принимать 1-2 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>3</sup> вместимости стабилизатора от концентрации осадка соответственно 99,5-97,5%. При этом интенсивность аэрации должна быть не менее 6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

Уплотнение аэробно стабилизированного осадка следует 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%.

Иловая вода из уплотнителей должна направляться в аэротенки. Степень ее загрязнения следует принимать: по БПК<sub>полн</sub> – 200 мг/л; по взвешенным веществам – до 100 мг/л.

Для аэробно стабилизированных осадков следует предусматривать дальнейшую обработку так же, как для осадков, сброженных в мезофильных условиях. Водоотдача их значительно лучше исходных и анаэробно сброженных. Они быстро подсыхают на иловых площадках при нагрузке в 1,5 раза больше, чем для термофильно сброженных осадков, а подготовка их к механическому обезвоживанию проще, чем осадков, сброженных в анаэробных условиях.

Возраст ила может быть подсчитан по формуле

$$\tau = \frac{t_a \cdot a_a \cdot 1000}{C_{cdp} \cdot 24}, \text{ сут.}, \quad (2.62)$$

где  $t_a$  – продолжительность обработки сточной воды в аэротенках, ч.;  
 $a_a$  – доза ила, г/л.

Время стабилизации **неуплотненного активного ила** в стабилизаторе

$$t_{ил} = \frac{[(8 \dots 10) + 0,02 \cdot (20 - T_a) \cdot (\tau + 5)]}{1,08^{20 - T_c}}, \text{ сут.}, \quad (2.63)$$

где  $T_a$  – температура сточных вод в аэротенках, °C;  
 $T_c$  – температура активного ила в аэробном стабилизаторе, °C.

Удельный расход кислорода равен

$$q_{ил} = \frac{0,96 + 0,016 \cdot \tau}{1 + 0,108 \cdot \tau} \text{ кг O}_2 / \text{ кг ОВ}. \quad (2.64)$$

Требуемый объем аэробного стабилизатора равен

$$V_{ac} = V_{ил.н} \cdot t_{ил}, \text{ м}^3, \quad (2.65)$$

( $V_{ил.н}$  следует определять по формуле (2.20)).

Далее определяют параметры типового стабилизатора [8] (*прил. Н*).

Требуемое количество воздуха

$$D = \frac{q_{ил} \cdot S_o \cdot 1000}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_T \cdot K_3 \cdot (C_p - C)}, \text{ м}^3 / \text{ м}^3 \text{ иловой смеси}, \quad (2.66)$$

где  $S_0$  – концентрация беззольного вещества в поступающем на стабилизацию неуплотненном иле, кг/м<sup>3</sup>:

$$S_0 = \frac{I_{\text{без}} \cdot 1000}{V_{\text{ил.н.}}} \text{ кг/м}^3; \quad (2.67)$$

$C$  – концентрация кислорода в стабилизаторе, мг/л;  $C=1-2$  мг/л;

$C_p$  – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л; зависит от температуры, атмосферного давления и глубины погружения аэратора;

$C_p - C = 9,4$  мг/л;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий тип аэратора, может быть определен для мелкопузырчатой аэрации по [1, таблица В.6] в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и стабилизатора; для среднепузырчатой и низконапорной аэрации  $K_1=0,75$ ;

$K_2$  – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов  $h_a$ , м, определяют по [1, таблица В.7]; при  $h_a=3$  м  $K_2=2,08$ ; при  $h_a=4$  м  $K_2=2,52$ ; при  $h_a=5$  м  $K_2=2,92$ .

$K_T$  – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод:

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_w - 20), \quad (2.68)$$

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

$K_3$  – коэффициент качества сточных вод; для сточных вод хозяйственно-бытовой канализации населенного пункта  $K_3=0,85$ ; при наличии СПАВ  $K_3$  принимают в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и стабилизатора по [1, таблица В.8], для производственных сточных вод – по опытным данным (при их отсутствии допускается принимать  $K_3=0,7$ ).

При расчете продолжительности аэробной стабилизации **смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила** необходимо определить отношение беззольного вещества осадка к беззольной смеси по формуле

$$B = \frac{Q_{\text{без}}}{M_{\text{без}}}; \quad (2.69)$$

тогда период стабилизации активного ила и сырого осадка равен

$$t_c = t_{\text{ил}} + 2 \cdot B, \text{ сут.} \quad (2.70)$$

Удельное количество кислорода для смеси осадка и ила равно

$$q_c = q_{\text{ил}} \cdot (1 + 0,4 \cdot B \cdot \sqrt{\tau}) \text{ кг О}_2/\text{кг БЗ.} \quad (2.71)$$

Требуемый объем стабилизатора

$$V_c = V_{\text{см}} \cdot t_c \text{ м}^3, \quad (2.72)$$

где  $V_{\text{см}}$  – объем осадка, поступающего в аэробный стабилизатор, т.е. объем смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила (формулы (2.19))

и (2.20)).

Концентрация беззольного вещества смеси сырого осадка и избыточного уплотненного активного ила

$$S_o = \frac{M_{\text{без}}}{V_{\text{см}}} \text{ кг/м}^3. \quad (2.73)$$

Далее определяют необходимое удельное количество воздуха по формуле (2.66). Значения коэффициентов принимают в соответствии с типом аэрации, используемом в аэробном стабилизаторе.

### 2.3.4 Кондиционирование осадков

Для улучшения влагоотдачи осадков необходимо изменить структуру их твердой фазы путём коагуляции химическими реагентами, или введением присадочных материалов, замораживанием с последующим оттаиванием, тепловой обработкой.

Проведение указанных операций, получившее наименование *кондиционирования* осадков, вызывает укрупнение частиц осадков и дисперсионной среды, что ослабляет силу сцепления воды с твердыми частицами. Изменение структуры осадков приводит к количественному перераспределению форм связи влаги с увеличением содержания свободной воды за счёт уменьшения общего количества связанной влаги, что позволяет добиваться более глубокого и быстрого их обезвоживания.

Уменьшения удельного сопротивления осадков фильтрации при их **промывании** достигают за счет удаления из них коллоидных и мелкодисперсных частиц, а также уменьшения щелочности осадков.

Промывание наиболее эффективно для анаэробно сброженных осадков. Не осуществляют промывку осадков сырых, аэробных стабилизированных или анаэробно сброженных в двухъярусных отстойниках или осветлителях-перегнвателях.

Промывку осадков осуществляют биологически очищенной сточной водой. Количество промывной воды следует принимать, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

- для сброженного сырого осадка – 1-1,5;
- для сброженной в мезофильных условиях смеси сырого осадка и избыточного активного ила – 2-3;
- то же, в термофильных условиях – 3-4.

Промывку осадка осуществляют в двух или более специальных резервуарах в течение 15-20 мин. при непрерывном перемешивании. Промывные резервуары должны иметь устройства для удаления всплывающих примесей и опорожнения. При перемешивании воздухом его расход определяется из расчета 0,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> смеси.

Уплотнение смеси промытого осадка и отделение иловой воды осуществляют в не менее чем в двух радиальных (иногда – горизонтальных) илоуплотнителях. Длительность пребывания смеси осадка и промывной воды в рабочей зоне илоуплотнителя принимают 12-18 и 20-24 час. Соответственно для мезофильного и термофильного режимов сбрасывания; объем иловой части

илоуплотнителей рассчитывают на хранение там осадка влажностью 94-96% в течение 2 суток.

В настоящее время широко применяют простое в эксплуатации и высокоэффективное **химическое** кондиционирование полиэлектролитами (флокуляция) и реже – неорганическими электролитами (коагуляция).

Так как осадки содержат отрицательно заряженные коллоиды, то для их коагуляции применяются катионные носители заряда: соли алюминия и железа, а также органические катионные полимеры.

При растворении в воде **соли алюминия и железа** образуют продукты гидролиза и приводят к снижению рН осадка до 4-5. Поэтому в осадок необходимо ввести **известь** (для повышения рН свыше 10) для увеличения эффективности коагуляции. Кроме того, введение извести в осадок предотвращает распространение их запаха. Синтетические **флокулянты** получили гораздо более широкое применение, чем природные, ввиду лучших их флокуляционных свойств и более экономичного производства. Применяются в основном катионные синтетические органические полиэлектролиты. Дозу флокулянта следует принимать на основании данных процесса обезвоживания в лабораторных условиях с учетом технических требований, устанавливаемых производителями оборудования. Для ориентировочных расчетов доза высокомолекулярных флокулянтов катионного типа может быть принята в пределах 2-7 кг/т сухого вещества осадка.

Применяемые в качестве реагентов хлорное и сернокислородное железо, а также известь, вводятся в осадок в виде 10%-ных растворов, а флокулянты – в виде 0,1-0,15%-ных растворов. Дозы реагентов определяют опытным путем. Кондиционирование осадков обычно проводится перед обезвоживанием, так как осадок после кондиционирования хорошо отдаёт воду.

При использовании органических флокулянтов необходимо использовать оборудование, которое учитывает не простую специфику таких препаратов, требующих строгого обращения, как в процессе хранения и растворения, так и в процессе насосной транспортировки. Главным условием является получение созревшего однородного раствора и подача в точку потребления специальными насосами, которые за счет своей конструкции не допустят механического разрушения длинноцепных молекул среды.

Экономия флокулянта и эффективность центрифугирования осадков в значительной степени зависят от полноты его растворения. Для приготовления рабочего раствора порошкообразного флокулянта применяются две технологические схемы:

- одностадийная – приготовление раствора 0,1-0,15%-ной концентрации;
- двухстадийная – приготовление раствора 0,5-1,0%-ной концентрации и последующее ее доведение (разбавление) до рабочей концентрации 0,1-0,15%.

Эффективность процесса флокуляции во многом зависит от правильного выбора места ввода рабочего раствора флокулянта и продолжительности контакта его с осадком для достижения полной флокуляции коллоидных частиц.

К **безреагентным** методам кондиционирования осадка относятся

тепловая обработка и замораживание с последующим оттаиванием. Тепловая обработка заключается в нагревании осадка до температуры 170-220°C и выдерживании их при этой температуре в закрытых емкостях – автоклавах, реакторах в течение 30-120 мин.

Осадок после тепловой обработки быстро уплотняется до влажности 92-94%, т.е. его объём сокращается в 2-4 раза, причём обезвоживаются осадки без обработки их химическими реагентами.

Осадок после замораживания и оттаивания обезвоживается механическим путём тоже без применения дополнительных реагентов.

### **2.3.1 Обезвоживание в естественных условиях (сушка на иловых площадках)**

Осадки новых очистных станций рекомендуется обезвоживать с использованием механического оборудования, а иловые площадки могут проектироваться как резервные сооружения или для досушивания (складирования) кека перед его дальнейшей утилизацией.

Сушка осадка может осуществляться на иловых площадках с естественным основанием, которые допускается проектировать на естественном основании с дренажем и без дренажа, на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем, каскадных с оттаиванием и поверхностным удалением иловой воды, площадках-уплотнителях.

Нагрузку осадка на иловые площадки,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ , в год в районах со среднегодовой температурой воздуха 3-6°C и среднегодовым количеством атмосферных осадков до 500 мм надлежит принимать по *приложению П*.

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

Для уборки и вывоза подсушенного осадка следует предусматривать механизмы, используемые на земляных работах.

Иловые площадки на естественном основании допускается проектировать при условии залегания грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и только в тех случаях, когда возможна 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.

При проектировании иловых площадок надлежит принимать:

- рабочую глубину карт – 0,7-1 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 м;
- уклон дна разводящих труб или лотков – по расчету, но не менее 0,01;
- число карт – не менее четырех.

При проектировании иловых площадок на естественном основании



размеры карт и число выпусков осадка на карту определяют исходя из влажности осадка, дальности его разлива и способа уборки после подсыхания. Дальность разлива осадка с влажностью около 97% может составлять 75-100 м. При этом целесообразно строить иловые площадки размерами 100х100 м. Дальность разлива осадка с влажностью 93-95% может составлять 20-25 м, в этом случае ширина карт будет ограничена 40-50 м при двустороннем напуске. Узкие площадки предпочтительнее при планировке на территории, имеющей хорошо выраженный уклон. Для осадков с удельным сопротивлением ниже  $1000 \cdot 10^{10}$  см/г допускается применение иловых площадок с дренажем, при этом нагрузку принимают от 2 до 3 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год).

Иловые площадки должны проверяться на зимнее намораживание, для которого допускается использование 80% из площади (остальные 20% площади предназначаются для использования во время весеннего таяния намороженного осадка). Продолжительность периода намораживания следует принимать равной числу дней со среднесуточной температурой воздуха ниже -10°С.

Количество намороженного осадка допускается принимать равным 75% исходного осадка, поданного на иловые площадки за период намораживания. Высоту намораживаемого слоя надлежит принимать на 0,1 м менее высоты валика. Дно разводящих труб или лотков – выше горизонта намораживания.

Искусственное дренирующее основание иловых площадок необходимо устраивать из двух слоев асфальта  $\delta=0,015-0,025$  по щебеночно-песчаной подготовке толщиной 0,1 м.

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

- число каскадов 4-7;
- число карт в каждом каскаде – 4-8;
- полезную площадь одной карты от 0,25 до 2 га;
- ширину карт 30-100 м (при уклонах местности 0,004-0,08), 50-100 м (при уклонах 0,01-0,04), 60-100 м (при уклонах 0,01 и менее);
- длину карт при уклонах свыше 0,04 – 80-100 м, при уклонах 0,01 и менее – 100-250 м;
- отношение ширины к длине 1:2 – 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 – 2 первые карты, при 7-8 картах – на 3-4 первые карты;
- перепуски иловой воды – 30-50% количества обезвоживаемого осадка.

Иловые площадки-уплотнители устраивают рабочей глубиной до 2 м в виде прямоугольных карт-резервуаров с водонепроницаемыми днищами и стенами. Для выпуска иловой воды, выделяющейся при отстаивании осадка, вдоль продольных стен предусматривают отверстия, перекрываемые шиберами.

Подачу иловой воды с иловых площадок осуществляют на очистные сооружения, при этом сооружения рассчитывают с учетом дополнительных загрязняющих веществ и количества иловой воды. Дополнительные количества загрязняющих веществ от иловой воды принимают: при сушке сброшенных

осадков – по взвешенным веществам – 1000-2000 мг/л, по БПКполн – 1000-2000 мг/л (большие значения для площадок-уплотнителей, меньшие – для других типов иловых площадок); иловая вода из уплотнителей аэробно-стабилизированного осадка должна направляться в аэротенки; ее загрязнения следует принимать: БПКполн – 200 мг/л, по взвешенным веществам – до 100 мг/л; влажность уплотненного осадка 96,5-98,5%.

Полезная площадь иловых площадок равна

$$F = \frac{V_{\text{общ}} \cdot 365}{h \cdot K}, \text{ м}^3, \quad (2.74)$$

где  $h$  – нагрузка на иловые площадки,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  в год; принимается по *приложению П* для сброженной смеси осадков первичных отстойников и активного ила в термофильных условиях при среднегодовой температуре воздуха 3-6°C и среднегодовом количестве атмосферных осадков до 500 мм;  $h=1 \text{ м}^3/\text{м}^2$ ;

$K$  – климатический коэффициент, принимаемый по *приложению М*.

Дополнительная площадь иловых площадок, занимаемая валиками, дорогами, канавами принимается равной

$$F_{\text{доп}} = K_1 \cdot F, \text{ м}^2, \quad (2.75)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий 30% площади на устройство дорог и валиков.

Тогда общая площадь иловых площадок

$$F_{\text{общ}} = F + F_{\text{доп}}, \text{ м}^3. \quad (2.76)$$

Иловые площадки проверяются на зимнее намораживание по числу дней с температурой -10°C. Под намораживание должно отводиться не более 80% полезной площади иловых площадок.

Высота слоя намораживания зависит от климатических условий

$$h_1 = \frac{M \cdot t \cdot K_3}{F \cdot K_2}, \text{ м}, \quad (2.77)$$

где  $t$  – период намораживания (*прил. М*), сут.;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий часть площади, отводимой под зимнее намораживание;  $K_2=0,8$ ;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий уменьшение объема осадка вследствие зимней фильтрации и испарения;  $K_3=0,75$ .

Дренаж на иловых площадках принимается из перфорированных асбестоцементных труб диаметром 150 мм, закладываемых в траншеи шириной 1 м, заполненные щебнем или гравием крупностью 5-15 мм. Расстояние между дренажными трубами – 6 м, уклон –  $i=0,002$ . Иловая вода отводится в начало очистных сооружений.

Объем подсушенного осадка (влажность 80%) за год равен

$$W_{\Pi} = M \cdot 365 \cdot \frac{100 - P_{\text{исх}}}{100 - 80}, \text{ м}^3. \quad (2.78)$$

Уборка подсушенного осадка производится экскаватором с дальнейшей погрузкой осадка на самосвалы.

### **2.3.2 Механическое обезвоживание осадков**

Обезвоживание осадков сточных вод на иловых площадках для очистных сооружений средней и большой производительности часто оказывается невозможным из-за отсутствия свободных земельных площадей. Поэтому на таких станциях применяют механическое обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах или других аппаратах.

При фильтровании происходит процесс отделения твёрдых частиц от жидкости при разности давления над фильтровальной средой и под ней. Фильтрующей средой на барабанных вакуум-фильтрах и фильтр-прессах является фильтровальная ткань и слой осадка, налипающий на ткань в процессе фильтрования. Первоначальное фильтрование происходит через ткань, в порах которой твёрдые частицы осадка задерживаются и создают добавочный фильтровальный слой. Этот слой по мере фильтрования увеличивается и является главной фильтрующей средой, а ткань служит лишь для поддержания фильтрующего слоя.

При фильтровании жидкость протекает через пористую массу и образуется слой осадка (кека). При увеличении слоя кека уменьшается скорость протекания жидкости (фильтрата).

В зоне фильтрования осадок фильтруется под действием вакуума (в барабанных вакуум-фильтрах), а на фильтр-прессах под давлением. Влажность обезвоженного осадка (кека) составляет 60-80%.

Реагенты для кондиционирования осадков вводятся непосредственно перед подачей осадка на механическое обезвоживание (перед фильтр-прессами, центрифугами).

**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, дисковые и ленточные вакуум-фильтры.

Осадок фильтруется под действием вакуума (300-500 мм рт.ст.) через ткань, а фильтрат отводится по коллектору. Влажность осадка составляет 72-87%. Для улучшения фильтрационной способности ткань через 8-24 ч. работы фильтра регенерируют – промывают ингибированной кислотой или раствором ПАВ.

**Обезвоживание осадка на фильтр-прессах** заключается в удалении воды под действием избыточного давления, которое создается со стороны осадка. Фильтр-прессы применяют в тех случаях, когда осадок после обезвоживания направляют на сушку или сжигание, или когда необходимо получить осадки для дальнейшей утилизации с минимальной влажностью.

Фильтр-прессы различают рамные, камерные, ленточные, барабанные и винтовые (шнековые). По сравнению с барабанными вакуум-фильтрами, при прочих равных условиях, после обезвоживания осадка на фильтр-прессах получают осадки с меньшей влажностью – 55-75%.

Фильтр-прессы являются аппаратами периодического действия.

Наиболее эффективно обезвоживаются на камерных фильтр-прессах осадки минерального происхождения производственных сточных вод. Осадки городских сточных вод обезвоживаются хуже.

**Обезвоживание осадка на центрифугах** – это процесс разделения неоднородных систем (эмульсий, суспензий) под действием центробежных сил, возникающих во вращающемся роторе. Подающийся непрерывно осадок под действием центробежных сил прижимается к внутренней поверхности сплошного ротора. Твердые частицы, имеющие большую плотность, осаждаются в объеме суспензии и концентрируются на стенках ротора, вытесняя воду в пространство, расположенное ближе к центру вращения. Это дает возможность разделить осадок на фракции: твердую – кек и жидкую – фугат.

Обезвоживанию методом центрифугирования подлежат все виды осадка (из первичных отстойников, избыточного активного ила, смеси).

Основными недостатками метода являются достаточно высокая стоимость флокулянтов, а при центрифугировании без флокулянтов – низкая эффективность задержания сухого вещества осадка, т.е. образуется фугат с высокими значениями БПК, ХПК и содержанием взвешенных веществ, и его необходимо направлять на дальнейшую обработку на сооружения биологической очистки, увеличивая тем самым нагрузку на них.

Производительность центрифуг зависит от конкретных условий работы (качество осадков, состав сточных вод, методы предварительной обработки осадка). Эффективность задержания сухого вещества и влажность осадка принимают по паспортным данным предприятий-изготовителей.

Расчет и выбор оборудования для обезвоживания осадков при помощи центрифугирования или при использовании фильтр-прессов выполняется в следующей последовательности.

Время работы цеха принимается 16-20 ч., остальное время предназначено для технического обслуживания оборудования.

В зависимости от производительности цеха и предполагаемого оборудования выбирается количество рабочих единиц оборудования. Выбор того или иного варианта осуществляется с учетом конкретных условий работы станции после определения и сравнения для различных вариантов технических и экономических параметров работы.

Количество резервного оборудования принимается согласно п. 10.7.10 [1]:

- фильтр-прессов при количестве рабочих единиц до трех – 1, от четырех и больше – 2;
- центрифуг при количестве рабочих единиц до двух – 1, трех и более – 2.

Расчетное количество перерабатываемого аппаратами осадка составит

$$Q_{ос} = N_1 \cdot Q_1 + N_2 \cdot Q_2 + \dots, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (2.79)$$

где  $N_1, N_2$  – количество рабочих аппаратов с производительностью соответственно  $Q_1, Q_2$ .

Количество сухого вещества осадка можно определить по формуле

$$Q_{\text{сух.в}} = \frac{Q_{\text{ос}} \cdot (100 - P_{\text{ос}})}{100}, \text{ т/сут.} \quad (2.80)$$

Количество кека, полученного в результате центрифугирования,  $\text{м}^3/\text{сут}$ , определяют по формуле

$$Q_{\text{кека}} = \frac{Q_{\text{ос}} \cdot (100 - P_{\text{ос}})}{100 - P_{\text{к}}}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (2.81)$$

где  $P_{\text{к}}$  – влажность выгружаемого из центрифуг кека, %; принимают по паспортным характеристикам аппаратов или по результатам экспериментальных данных.

Доза флокулянта  $D_{\text{фл}}$  определяется в лабораторных условиях опытным путем и прямо зависит от удельного сопротивления осадка. Необходимое количество флокулянта составит

$$Q_{\text{фл}}^{\text{сут}} = D_{\text{фл}} \cdot Q_{\text{сух.в}}, \text{ кг/сут.} \quad (2.82)$$

При работе цеха в течение  $t$  часов в сутки расход флокулянта в час равен

$$Q_{\text{фл}}^{\text{час}} = \frac{Q_{\text{фл}}^{\text{сут}}}{t}, \text{ кг/ч.} \quad (2.83)$$

Необходимое количество флокулянта в год составит:

$$Q_{\text{фл}}^{\text{год}} = Q_{\text{фл}}^{\text{сут}} \cdot 365, \text{ кг/год.} \quad (2.84)$$

Количество «материнского» раствора 1% концентрации составит:

$$Q_{1\%} = \frac{Q_{\text{фл}}^{\text{сут}} \cdot 100}{1000 \cdot 1}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2.85)$$

Количество рабочего раствора 0,15% концентрации составит:

$$Q_{0,15\%} = \frac{Q_{1\%} \cdot 1}{0,15} \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2.86)$$

Количество рабочего 0,15% раствора флокулянта на  $1 \text{ м}^3$  осадка составит:

$$q_{0,15\%} = \frac{Q_{0,15\%}}{Q_{\text{ос}}} \cdot 1000, \text{ л/м}^3 \cdot \text{сут.} \quad (2.87)$$

### **3 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ПРИРОДНЫХ ВОД**

Технологическими схемами работы очистных сооружений водопроводных станций предусмотрен расход воды на собственные нужды в количестве от 10 до 14% суточной производительности станции. Это количество в виде промывных вод фильтров или контактных осветлителей (до 90% воды, используемой на собственные нужды станций), а также осадки, образующиеся после очистки воды, сбрасываются в водоемы, что наносит ощутимый вред окружающей среде. Кроме того, выбрасываемые с осадком ценные компоненты могли бы использоваться в народном хозяйстве, так как они содержат большое количество органики и элементов минерального происхождения.

С целью снижения расхода воды на собственные нужды и вредного воздействия на окружающую среду применяется бессточная схема водопроводных очистных сооружений, по которой объем стоков или «хвостов», сбрасываемых из основной технологической схемы, сведен до нуля, либо до таких величин, учет которых не производится ввиду их незначительности.

По этой схеме промывные воды фильтров через песколовки, резервуары-накопители возвращаются в голову очистных сооружений, а осадок уплотняется, обрабатывается флокулянтами и обезвоживается на фильтр-прессах. Образовавшийся в результате обезвоживания осадков фильтрат направляется в резервуар-накопитель и совместно с промывными водами фильтров подается также в голову очистных сооружений. Обезвоженный осадок (кек) предполагается использовать в качестве компонента сырьевой смеси для производства красного кирпича взамен глины или в качестве удобрений в лесных питомниках и лесопосадках с целью повышения плодородия почвы. Таким образом, сброса в водоемы не производится, что способствует охране окружающей среды.

Так как для различных водоисточников свойства осадков изменяются в очень широких пределах и зависят от минерального состава и основных физико-химических свойств воды, поступающей на очистку, для каждого очистного сооружения вопрос обработки и использования осадков решается отдельно.

#### **3.1 Определение количества осадков, образующихся на очистной станции водоснабжения**

На очистных станциях водоподготовки основным видом осадка, при обработке которого возникают трудности, является гидроксидный осадок, который образуется при реагентной очистке воды. Количество других осадков (промывные воды фильтров и контактных осветлителей, растворных баков реагентов) относительно мало.

Большое количество осадка образуется также при обезжелезивании воды, которое чаще всего реализуется окислением двухвалентного железа в трехвалентное, выделяющееся при нормальных условиях в виде осадка. При

этом вначале окисляют  $Fe^{2+}$  при помощи окислителя, а потом воду фильтруют для задержания осадка  $Fe(OH)_3$ .

Объем осадка, образующегося в отстойниках, может быть определен по формуле

$$V_{отст} = \frac{(C_{вх} - C_{вых}) \cdot Q_{полн}}{C_{ос}}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (3.1)$$

где  $C_{ос}$  – концентрация осадка в отстойниках станций водоподготовки,  $г/м^3$ ; может быть определена согласно [2, таблица 17] (прил. Т);

$C_{вых}$  – концентрация взвешенных веществ на выходе из отстойника ( $8-12 г/м^3$ );

$C_{вх}$  – концентрация взвешенных веществ на входе в отстойник,  $г/м^3$ , определяется по [2, ф-ла (Д.3)]:

$$C_{вх} = C_{исх} + K \cdot D_k + 0,25 \cdot Ц + V_{и}, \text{ г/м}^3, \quad (3.2)$$

где  $K$  – коэффициент, принимаемый для очищенного сульфата алюминия –  $0,5$ , для хлорного железа –  $0,7$ ;

$V_{и}$  – содержание нерастворенных веществ, вводимых вместе с известью,  $г/м^3$ , определяется по [2, ф-ла (Д.4)]

$$V_{и} = \frac{D_{изв}}{K_{изв}} - D_{изв}, \text{ г/м}^3, \quad (3.3)$$

где  $K_{изв}$  – долевое содержание  $CaO$  в извести ( $0,4$ ).

Суточный объем промывной воды фильтров определяют из выражения

$$Q_{пр} = i \cdot t \cdot F \cdot n, \text{ м}^3, \quad (3.4)$$

где  $i$  – интенсивность промывки,  $л/с \cdot м^2$ ;

$t$  – продолжительность промывки, ч.;

$n$  – количество промывок в сутки;

$F$  – площадь фильтров,  $м^2$ .

Средняя концентрация загрязнений в промывной воде фильтров равна

$$C_{пр} = \frac{(C_{вх}^ф - C_{вых}^ф) \cdot Q_{полн}}{Q_{пр}}, \text{ г/м}^3, \quad (3.5)$$

где  $C_{вх}^ф$  – концентрация взвешенных веществ в воде на входе в фильтр после отстойника,  $г/м^3$ ;

$C_{вых}^ф$  – концентрация взвешенных веществ в фильтрованной воде ( $1,5 г/м^3$ ).

Для определения объема осадка  $V_{рез}$ , выделяющегося при отстаивании промывной воды фильтров в резервуаре-усреднителе, можно использовать формулу (3.1).

### 3.2 Определение объемов сооружений для работы станции водоподготовки по бессточной схеме

Основными сооружениями для приема и обработки промывных вод и осадков являются (рисунок 3.1):

- резервуар-усреднитель промывной воды, из которого вода равномерно в течение суток перекачивается в головной узел водоочистных сооружений (перед смесителем);
- сгуститель осадка;
- емкости для растворов реагентов;
- насосы перекачки.

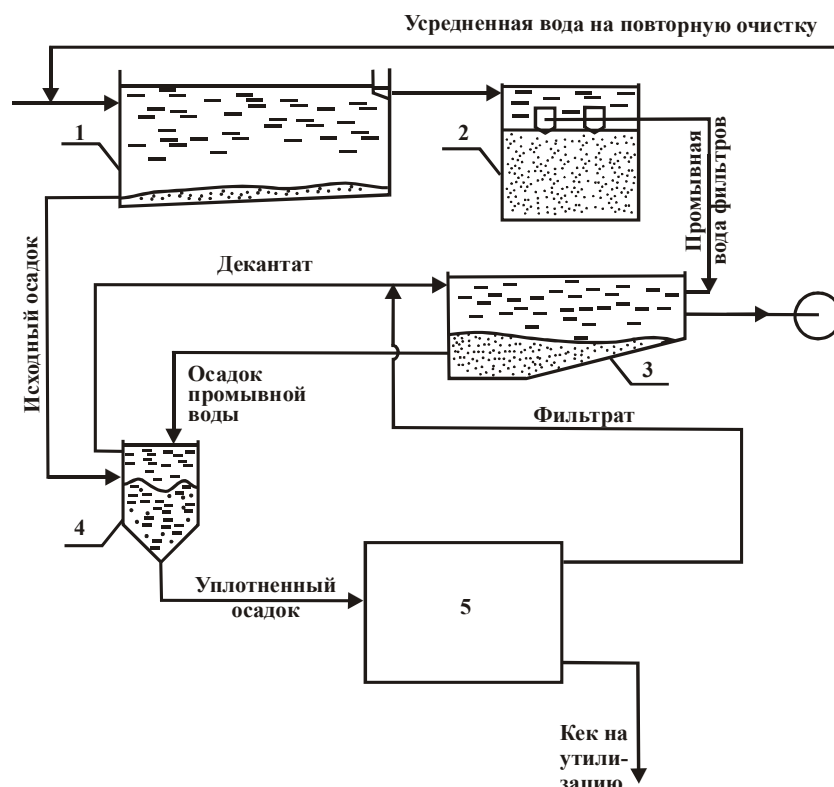


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема обработки осадков станции водоподготовки:

- 1 – отстойник; 2 – фильтр; 3 – резервуар-усреднитель;
- 4 – осадкоуплотнитель; 5 – цех мехобезвоживания

Для извлечения песка из промывной воды перед резервуаром-усреднителем может быть установлена горизонтальная песколовка. В таком случае отстаивание воды в резервуаре-усреднителе не предусматривается. Песок из осадочной части песколовки периодически удаляется по мере его накопления и передается в уплотнитель или на песковые площадки.

Расчет резервуара-усреднителя промывной воды при работе станции по бессточной схеме несколько отличается от традиционного, так как должен учитывать количество надосадочной жидкости (декантата) и фильтрата от мехобезвоживания осадка. Объем резервуара-усреднителя должен обеспечивать прием количества воды от одновременной промывки нескольких фильтров, а также надосадочной жидкости из илоуплотнителей и фильтрата от



мехобезвоживания. Таким образом, емкость резервуара-усреднителя равна:

$$V_p = V_{пр} + V_H + V_{ф}, \text{ м}^3, \quad (3.6)$$

где  $V_{пр}$  – остаточный объем промывной воды фильтров (не откачанный) в резервуаре-усреднителе,  $\text{м}^3$ ;

$V_H$  – объем образующейся надосадочной жидкости (декантата),  $\text{м}^3$ ;

$V_{ф}$  – объем фильтрата после мехобезвоживания,  $\text{м}^3$ .

Определение остаточного объема промывной воды фильтров (не откачанного) в резервуаре-усреднителе  $V_{пр}$  производится по разности подачи промывной воды (в соответствии с принятым режимом промывки фильтров на очистной станции) и откачки промывной воды из резервуара-усреднителя установленными насосами (как правило, равномерно в течение суток).

Объем образующейся надосадочной жидкости (декантата) равен:

$$V_H = V_{исх} - V_{упл}, \text{ м}^3, \quad (3.7)$$

где  $V_{исх}$  – объем исходного осадка,  $\text{м}^3$ :

$$V_{исх} = V_{отст} + V_{рез}, \text{ м}^3; \quad (3.8)$$

$V_{упл}$  – объем уплотненного осадка с учетом добавок для уплотнения,  $\text{м}^3$ :

$$V_{упл} = \frac{V_{исх} \cdot (100 - W_{исх})}{(100 - W_{упл})}, \text{ м}^3, \quad (3.9)$$

где  $W_{исх}$  – влажность исходного осадка, %; (составляет в среднем 99,5-98% в зависимости от качественных показателей обрабатываемой воды и принятой схемы очистки);

$W_{упл}$  – влажность уплотненного осадка, %; (достигает в среднем 98-90% в зависимости от свойств осадка и принятой схемы уплотнения).

Объем фильтрата после мехобезвоживания может быть определен по формуле

$$V_{ф} = V'_{упл} - V_{об}, \text{ м}^3, \quad (3.10)$$

где  $V'_{упл}$  – объем уплотненного осадка с учетом добавок для обезвоживания,  $\text{м}^3$ ;

$V_{об}$  – объем осадка после мехобезвоживания,  $\text{м}^3$ .

Для улучшения процесса уплотнения в осадок могут вводиться различные добавки (известь, глина) в количестве до 20% от веса сухого вещества осадка. В условиях данного расчета принимаем уплотнение без внесения добавок.

Далее при обезвоживании осадок также может быть обработан реагентами, которые могут увеличить количество сухого вещества осадка (например, известью). В условиях данного расчета принимаем добавку ПАА,

который не оказывает такого действия.

Объем осадка после мехобезвоживания

$$V_{об} = \frac{V_{упл} \cdot (100 - W_{упл})}{(100 - W_{об})}, \text{ м}^3, \quad (3.11)$$

где  $W_{об}$  – влажность обезвоженного осадка, %; (достигаемая влажность зависит от свойств осадка и принятого оборудования; может быть принята в среднем 70-85% для вакуум-фильтров или 55-75% для фильтр-прессов).

Расчет осадкоуплотнителей, емкостей для реагентов, подбор насосов и оборудования для мехобезвоживания выполняется согласно традиционным методикам.

## 4 УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Учебным планом специальности 8.06010108 – Водоснабжение и водоотведение предусмотрено проведение практических занятий, тематика и объем которых указаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Тематика практических занятий и их объем

Название темы		Количество часов	
		дневная форма	заочная форма
<b>СМ 1. Состав и свойства осадков. Методы обработки осадков сточных вод</b>			
1.	Расчет количества образующегося осадка.	4	2
2.	Выбор технологических решений и расчет сооружений для уплотнения и сгущения осадков	4	1
3.	Расчеты сооружений для стабилизации осадков	4	2
4.	Выбор метода обезвоживания. Расчет иловых площадок и сооружений механического обезвоживания осадков.	4	1
<b>СМ 1. Обеззараживание и утилизация осадков. Осадки водопроводных очистных сооружений</b>			
5.	Составление технологической схемы сооружений для обработки осадков	8	1
6.	Выбор методов утилизации. Расчет количества образующегося биогаза и оборудования для его хранения и использования	4	1
7.	Расчеты сооружений для обработки осадков водопроводных очистных станций	6	2
	<b>ВСЕГО:</b>	<b>34*</b>	<b>10</b>

\* - в общем количестве часов учтено время, отводимое на проведение текущего модульного контроля по каждому содержательному модулю.

На практических занятиях рассматриваются основные положения и особенности методик расчета количеств образующихся осадков и сооружений для их обработки.

Полученные навыки студенты используют при выполнении курсового проекта (работы), а также при выполнении заданий текущего и итогового модульного контроля.

## **5 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

### **5.1 Общие положения**

Учебным планом предусмотрено выполнение расчетно-графической работы (РГР). Выполнение РГР необходимо для систематизации, закрепления и расширения теоретических и практических знаний по изучаемой дисциплине.

*Цель РГР* – изучение конструктивных особенностей сооружений, используемых для обработки осадков, образующихся при обработке сточных вод, и методик определения расчетных параметров технологических схем.

Основные задания при выполнении РГР:

1. Расчет количества осадков, задерживаемых решетками.
2. Расчет количества тяжелых минеральных осадков.
3. Определение общего количества образующихся органических осадков.
4. Расчет сооружений по обработке органических осадков.

Для расчета сооружений по обработке органических осадков могут быть приняты (по указанию преподавателя) следующие схемы:

- I. вертикальные илоуплотнители – анаэробное мезофильное сбраживание;
  - II. вертикальные илоуплотнители – анаэробное термофильное сбраживание;
  - III. радиальные илоуплотнители – анаэробное мезофильное сбраживание;
  - IV. радиальные илоуплотнители – анаэробное термофильное сбраживание;
  - V. аэробная стабилизация.
5. Расчет обезвоживания осадков.
  6. Составление технологической схемы.

**Структура РГР** должна быть следующей:

- *титульный лист* выполняется по соответствующей форме (*прил. У*);
- *исходные данные*;
- *содержание*, включающее:
  - последовательно перечисленные наименования всех разделов, подразделов, пунктов и подпунктов;
  - выводы;
  - список литературы;
  - приложения.

Допускается наименование пунктов и подпунктов в содержание не включать;

- *элементы основной части РГР* в соответствии с основным заданием;
- *выводы* должны содержать оценку полученных результатов расчетов, особенности и преимущества принятых в проекте технических решений;
- *список литературы*, использованной при выполнении РГР;
- *приложения* (при необходимости) – материал, который является необходимым, но не может быть размещён в основной части пояснительной записки из-за большого объёма или по другим соображениям.

***Общие правила оформления пояснительной записки (ПЗ) РГР:***

- страницы ПЗ выполняют без рамки с полями: верхнее и нижнее – 20, левое – не менее 25, правое – не менее 10 мм;
- текст ПЗ выполняют шрифтом 14 пт (Times New Roman, Arial, Arial Narrow, GOST type A, B) с полуторным межстрочным интервалом, выравниванием «по ширине»; заголовки могут быть выделены шрифтом 16 пт., выравнивание «по центру». Абзацы в тексте отступают от его границ на 1-1,27 см;
- нумерацию страниц ПЗ проставляют в правом верхнем углу арабскими цифрами без точки. Нумерация страниц – сквозная, включает иллюстрации (рисунки) и таблицы, размещаемые на отдельных страницах, а также приложения;
- все разделы РГР начинают с новой страницы;
- структурные элементы РГР – ВВЕДЕНИЕ, ВЫВОДЫ, СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ – не нумеруют.
- заголовки структурных элементов и разделов РГР пишут прописными буквами без точки в конце, не подчеркивая. Заголовки подразделов, пунктов и подпунктов пишут строчными буквами, начиная с прописной, размещая номер подраздела (пункта, подпункта) с абзацного отступа, без точки в конце;
- формулы и уравнения располагают после текста, в котором они упоминаются, посередине страницы. Формулы нумеруют в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в этом разделе, разделенных точкой. Номер формулы указывается на уровне формулы в круглых скобках в крайнем правом положении на строке.

Пояснения значений символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, приводят непосредственно под формулой в той последовательности, в которой они приведены в формуле. Пояснение значений каждого символа необходимо начинать с новой строки;

- таблицы располагают после текста, в котором их упоминают, или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово «таблица» пишут сокращенно. Размещают таблицы так, чтобы их было удобно видеть без поворота записки или с поворотом по часовой стрелке.

Таблицы нумеруют в пределах каждого раздела, за исключением таблиц, приведенных в приложениях. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы в этом разделе, разделенных точкой. Слово «Таблица \_\_» указывают слева над таблицей. Номер таблицы отделяют от названия дефисом. Название пишут с заглавной буквы, в конце названия точку не ставят. Название должно быть кратким и отображать содержание таблицы;

- иллюстрации располагают после текста, в котором их упоминают впервые, или на следующей странице. На все иллюстрации должны быть ссылки в тексте. Размещают иллюстрации так, чтобы их было удобно видеть без поворота записки или с поворотом по часовой стрелке.

Иллюстрации нумеруют в пределах каждого раздела. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации в этом разделе, разделенных точкой. Номер иллюстрации отделяют от названия дефисом. Название пишут с заглавной буквы, в конце названия точку не ставят. Если после названия располагается поясняющий текст, в конце названия ставят двоеточие, пояснения начинают с новой строки, в конце последней строки поясняющего текста точку не ставят.

### ***Графический материал.***

При выполнении РГР необходимо выполнить на листе формата А2 – А4 технологическую схему сооружений, параметры которых были определены. На этой схеме могут быть указаны не только сооружения для обработки осадков, но и условно сооружения схемы очистки сточных вод.

На схеме необходимо указать расчетные параметры, определенные при выполнении РГР (расходы, концентрации, количества сооружений, зольность и т.п.).

Оформление графического материала должно соответствовать принятым требованиям (обозначение трубопроводов, условные обозначения, спецификации, экспликации (возможно на отдельных листах или на обороте), толщины линий и т.д.).

Ориентировочно схема может иметь вид, показанный в *приложении Ф*.

## **5.2 Примеры расчетов сооружений**

### ***Исходные данные для расчета:***

- ⇒ расход бытовых сточных вод  $Q_{\text{mid}}^{\text{х/б}} = 72000 \text{ м}^3/\text{сут.};$
- ⇒ норма водопотребления в населенном пункте  $q_{\text{макс}}^{\text{сут}} = 300 \text{ л/сут. чел.};$
- ⇒ расход производственных сточных вод  $Q_{\text{mid}}^{\text{пп}} = 11000 \text{ м}^3/\text{сут.};$
- ⇒ концентрация взвешенных веществ в производственных сточных водах до отстаивания  $C_{\text{ен}}^{\text{пп}} = 500 \text{ мг/дм}^3;$
- ⇒ БПКполн производственных сточных вод  $L_{\text{ен}}^{\text{пп}} = 400 \text{ мг/л};$
- ⇒ эффект осветления (задержания взвешенных веществ) в первичных отстойниках  $\mathcal{E}_{\text{взв}} = 50\%;$
- ⇒ снижение БПКполн сточных вод при первичном отстаивании  $\mathcal{E}_{\text{БПК}} = 15\%;$
- ⇒ БПКполн очищенной сточной жидкости  $L_{\text{ex}} = 15 \text{ мг/л};$
- ⇒ вынос активного ила из вторичных отстойников  $b = 15 \text{ мг/л};$
- ⇒ применяемые песколовки – аэрируемые;

- ⇒ среднемесячная температура сточных вод за летний период  $T_w = 25^\circ\text{C}$ ;
- ⇒ температура сточных вод в аэротенке  $T_a = 18^\circ\text{C}$ ;
- ⇒ температура активного ила в стабилизаторе  $T_c = 15^\circ\text{C}$ ;
- ⇒ время обработки воды в аэротенках  $t_a = 5,4$  ч.;
- ⇒ доза ила  $a_a = 2$  г/л.

### 5.2.1 Расчет количества осадков, задерживаемых решетками

Приведенное число жителей

$$N_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{mid}} \cdot C_{\text{ен}}}{65} = \frac{83000 \cdot 254,5}{65} = 324977 \text{ чел.}$$

Количество загрязнений, задерживаемых решетками

$$W_{\text{сут.}}^{\text{р}} = \frac{324977 \cdot 16}{365 \cdot 1000} = 14,2 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Масса задерживаемых отбросов равна:

до обезвоживания

$$M_{\text{отбр.}} = \frac{870 \cdot 14,2}{1000} = 12,4 \text{ т/сут.};$$

$$M'_{\text{отбр.}} = \frac{1000 \cdot 12,4 \cdot 2}{24} = 1033,3 \text{ кг/ч};$$

после обезвоживания

$$M_{\text{отбр.}}^{\text{об.}} = \frac{690 \cdot 14,2}{1000} = 9,8 \text{ т/сут.};$$

$$M'_{\text{отбр.}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 2}{24} = 816,7 \text{ кг/ч};$$

Для уплотнения, прессования и передачи отбросов в накопительную емкость предусматриваем прессы винтовые отжимные ПВОЭ 2000 2 производства НПФ «Экотон» (1 рабочий и 1 резервный).

### 5.2.2 Расчет количества тяжелых минеральных осадков

Суточный объем осадка, накапливаемого в песколовках

$$W_{\text{сут.}}^{\text{п}} = \frac{324977 \cdot 0,03}{1000} = 9,7 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Годовой объем песка, задерживаемого в песколовках

$$W_{\text{год.}}^{\text{п}} = \frac{365 \cdot 324977 \cdot 0,03}{1000} = 3558,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Масса задерживаемого осадка

$$M_{\text{п}} = \frac{1500 \cdot 9,7}{1000} = 14,55 \text{ т/сут.}$$

Рабочая площадь песковых площадок

$$S_{\text{р}} = \frac{3558,5}{3} = 1186,2 \text{ м}^2.$$

Общая площадь песковых площадок

$$S_{\text{общ}} = 1,3 \cdot 1186,2 = 1542 \text{ м}^2.$$

Предусматриваем 2 песковые площадки размерами 30 x 30 м.  
Необходимый объем бункеров

$$W_{\text{б}}^{\text{п}} = 9,7 \cdot 3 = 29,1 \text{ м}^3.$$

Объем одного бункера диаметром 2 м

$$w_{\text{1б}}^{\text{п}} = \frac{3,14}{4} \cdot \left[ 2^3 + \frac{2}{3} \cdot (2^2 + 2 + 1) \right] \approx 10 \text{ м}^3.$$

Количество бункеров

$$n_{\text{б}} = \frac{29,1}{10} = 3.$$

### 5.2.3 Определение общего количества образующихся органических осадков

Концентрация взвешенных веществ в бытовых сточных водах

$$C_{\text{ен}}^{\text{х/б}} = \frac{65 \cdot 1000}{300} = 217 \text{ мг/дм}^3;$$

БПК<sub>полн</sub> бытовых сточных вод

$$L_{\text{ен}}^{\text{х/б}} = \frac{75 \cdot 1000}{300} = 250 \text{ мг/дм}^3.$$

На рассматриваемые очистные сооружения поступает смесь бытовых и производственных сточных вод. Общий расход очищаемых сточных вод равен

$$Q_{\text{mid}} = 72000 + 11000 = 83000 \text{ м}^3/\text{сут.} = 3458,3 \text{ м}^3/\text{ч} = 960,65 \text{ л/с.}$$

Концентрация загрязнений смеси сточных вод составит:

по взвешенным веществам

$$C_{\text{ен}} = \frac{(217 \cdot 72000 + 500 \cdot 11000)}{83000} = 254,5 \text{ мг/дм}^3;$$

по БПК<sub>полн</sub>

$$L_{\text{ен}} = \frac{(250 \cdot 72000 + 400 \cdot 11000)}{83000} = 270 \text{ мг/дм}^3.$$

По заданию эффект осветления в первичных отстойниках (Э) составляет 50%, снижение БПК<sub>полн</sub> смеси сточных вод – 15%. Тогда после первичного отстаивания концентрация загрязнений смеси сточных вод составит

по взвешенным веществам

$$C_{\text{сдр}} = (1 - \text{Э}_{\text{взв}}) \cdot C_{\text{ен}} = (1 - 0,5) \cdot 254,5 = 127,25 \text{ мг/дм}^3;$$

по БПК<sub>полн</sub>

$$L_{\text{а}} = (1 - \text{Э}_{\text{БПК}}) \cdot L_{\text{ен}} = (1 - 0,15) \cdot 270 = 229,5 \text{ мг/дм}^3.$$

Расход осадков в первичных отстойниках. (по сухому веществу)

$$Q_{\text{сух}} = \frac{254,5 \cdot 0,5 \cdot 1,1}{10^6} \cdot 83000 = 11,62 \text{ т/сут.}$$

Расход избыточного активного ила (по сухому веществу)

$$I_{\text{сух}} = \left[ \frac{0,8 \cdot 254,5 \cdot (1 - 0,5) + 0,3 \cdot (229,5 - 15)}{10^6} \right] \cdot 83000 = 13,8 \text{ т/сут.}$$

Расход осадка и избыточного активного ила по беззольному веществу равен

$$Q_{\text{без}} = \frac{11,62 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 27)}{100 \cdot 100} = 8,1 \text{ т/сут.};$$

$$I_{\text{без}} = \frac{13,8 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 25)}{100 \cdot 100} = 9,8 \text{ т/сут.}$$

Объем сырого осадка

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot 11,62}{(100 - 95) \cdot 1} = 232,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Объем избыточного активного ила:  
неуплотненного

$$V_{\text{ил.н}} = \frac{100 \cdot 13,8}{(100 - 99,5) \cdot 1} = 2760 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

уплотненного в радиальных илоуплотнителях

$$V_{\text{ил.упл.р}} = \frac{100 \cdot 13,8}{(100 - 97,3) \cdot 1} = 511,1 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

уплотненного в вертикальных илоуплотнителях

$$V_{\text{ил.упл.в}} = \frac{100 \cdot 13,8}{(100 - 98) \cdot 1} = 690,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий расход сырого осадка и избыточного активного ила на станции:  
по сухому веществу

$$M_{\text{сух}} = 11,62 + 13,8 = 25,42 \text{ т/сут.};$$

по сухому беззольному веществу

$$M_{\text{без}} = 8,1 + 9,8 = 17,9 \text{ т/сут.};$$

по расходу смеси фактической влажности

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил.н}} = 232,4 + 2760,0 = 2992,4 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

$$V_{\text{общ}}^1 = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил.упл.р}} = 232,4 + 511,1 = 743,5 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

$$V_{\text{общ}}^2 = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил.упл.в}} = 232,4 + 690,0 = 922,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Средняя влажность смеси равна:

сырого осадка и неуплотненного избыточного активного ила

$$P_{\text{ср}} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{25,42}{2992,4} \right) = 99,15\%;$$

сырого осадка и активного ила, уплотненного в радиальных илоуплотнителях

$$P_{\text{ср}}^1 = 100 \cdot \left( 1 - \frac{25,42}{743,5} \right) = 96,6\%;$$

сырого осадка и активного ила, уплотненного в вертикальных илоуплотнителях



$$P_{\text{ср}}^2 = 100 \cdot \left( 1 - \frac{25,42}{922,4} \right) = 97,2\%.$$

Средняя зольность смеси

$$Z_{\text{см}} = 100 \cdot \left[ 1 - \frac{17,9}{11,62 \cdot (100 - 5)/100 + 13,8 \cdot (100 - 5)/100} \right] = 25,9\%.$$

#### 5.2.4 Расчет вертикальных илоуплотнителей

Так как вертикальные илоуплотнители, устраиваемые на базе обычных первичных вертикальных отстойников с центральной трубой, применяются на станциях небольшой производительности, то произведем данный расчет на условный расход сточных вод, равный  $Q_{\text{mid}} = 20000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Максимальный прирост ила с учетом сезонной неравномерности

$$p_{\text{max}} = 1,3 \cdot (0,8 \cdot 127,25 + 0,3 \cdot 229,5) = 221,8 \text{ г/м}^3.$$

Максимальный часовой приток избыточного активного ила

$$q_{\text{max}} = \frac{221,8 \cdot 20000}{24 \cdot 4000} = 46,2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Высота проточной части илоуплотнителя

$$h = 3,6 \cdot 0,1 \cdot 10 = 3,6 \text{ м}.$$

Максимальный расход жидкости, отделяемой в процессе уплотнения ила

$$q_{\text{ж}} = 46,2 \cdot \frac{99,5 - 98,0}{100 - 98,0} = 34,65 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Полезная площадь поперечного сечения илоуплотнителя

$$F_{\text{пол}} = \frac{34,65}{3,6 \cdot 0,1} = 96,25 \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения центральной трубы равна

$$f_{\text{тр}} = \frac{46,2}{3600 \cdot 0,1} = 0,13 \text{ м}^2.$$

Общая площадь илоуплотнителя равна

$$F_{\text{общ}} = 96,25 + 0,13 = 96,38 \text{ м}^2.$$

Диаметр одного уплотнителя

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 96,38}{3,14 \cdot 2}} = \sqrt{61,4} = 7,8 \text{ м}.$$

Принимаем два вертикальных илоуплотнителя диаметром 9 м, расчетная глубина проточной части илоуплотнителя  $h=3,8 \text{ м}$  (прил. Д).

Продолжительность уплотнения избыточного активного ила

$$T = \frac{3,8}{3,6 \cdot 0,1} = 10,56 \text{ ч}.$$

Полученное значение соответствует рекомендованному времени уплотнения ила (для вертикальных илоуплотнителей составляет 10-15 ч.).

Часовой расход уплотненного ила

$$q_y = 46,2 \cdot \frac{100 - 99,5}{100 - 98,0} = 11,55 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Продолжительность хранения уплотненного ила в иловой части илоуплотнителя

$$T_{\text{ил}} = \frac{71,3 \cdot 2}{11,55} = 12,3 \text{ ч}.$$

Полученное значение  $T_{\text{ил}}$  соответствует рекомендуемому времени уплотнения.

Проверочный расчет показал, что выбранный тип отстойников может быть использован в качестве илоуплотнителей.

### 5.2.5 Расчет радиальных илоуплотнителей

Максимальный прирост ила с учетом сезонной неравномерности

$$p_{\text{max}} = 1,3 \cdot (0,8 \cdot 127,25 + 0,3 \cdot 229,5) = 221,8 \text{ г/м}^3.$$

Максимальный часовой приток избыточного активного ила

$$q_{\text{max}} = \frac{221,8 \cdot 83000}{24 \cdot 4000} = 191,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Необходимый объем илоуплотнителя равен

$$W = 191,8 \cdot 11 = 2109,8 \text{ м}^3.$$

В качестве илоуплотнителей принимаем вторичные радиальные отстойники диаметром 18 м с объемом зоны отстаивания одного отстойника  $W_{3,0} = 788 \text{ м}^3$  и объемом иловой зоны  $W_{\text{ил}} = 160 \text{ м}^3$  (прил. Е).

Количество илоуплотнителей равно

$$n = \frac{2109,8}{788} = 2,7.$$

Принимаем три илоуплотнителя.

Нагрузка на зеркало илоуплотнителя равна

$$q_0 = \frac{191,8}{3 \cdot 3,14 \cdot 9^2} = 0,25 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}.$$

Нагрузка находится в пределах допустимой для радиальных илоуплотнителей ( $q_0 = 0,2 - 0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ).

Расчетный расход уплотненного ила при его влажности 97,3%

$$q_y = 191,8 \cdot \frac{100 - 99,5}{100 - 97,3} = 35,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Максимальный объем жидкости, отделяющейся в процессе уплотнения

$$q_{\text{ж}} = 191,8 \cdot \frac{99,5 - 97,3}{100 - 97,3} = 156,3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

### 5.2.6 Расчет метантенков

Принимаем мезофильный режим сбраживания при температуре 33°C. Суточная доза загрузки осадка в метантенки при влажности осадка 97% принимается равной  $D_{\text{mt}} = 11\%$  (прил. Ж).

Максимально возможное сбраживание беззольного вещества загружаемого осадка для смеси осадка с активным илом

$$R_{\text{lim}} = \frac{53 \cdot 8,1 + 44 \cdot 9,8}{8,1 + 9,8} = 48,1\%.$$

Объем метантенков при сбраживании смеси сырого осадка и уплотненного в радиальных отстойниках активного ила

$$V_{\text{mt}} = \frac{743,5 \cdot 100}{11} = 6759,1 \text{ м}^3.$$

Для обработки осадка принимаем три Ж/Б метантенка; полезный объем одного резервуара  $2500 \text{ м}^3$  (прил. К).

Суммарный объем метантанков при этом окажется несколько больше требуемого, в связи с чем фактическая доза загрузки понизится до значения

$$D'_{\text{mt}} = \frac{743,5 \cdot 100}{3 \cdot 2500} \approx 10\%.$$

Распад беззольного вещества

$$R_{\Gamma} = 48,1 - 0,46 \cdot 10 = 44,46\%.$$

Количество распавшегося беззольного вещества равно

$$M_{\text{расп}} = M_{\text{без}} \cdot R_{\Gamma} = 17,9 \cdot 0,4446 = 7,96 \text{ т}.$$

Масса беззольного вещества сброженного осадка

$$M'_{\text{без}} = \frac{17,9 \cdot (100 - 44,46)}{100} = 9,94 \text{ т/сут.}$$

Масса сухого вещества в сброженной смеси

$$M'_{\text{сух}} = (25,42 - 17,9) + 9,94 = 17,46 \text{ т/сут.}$$

Влажность сброженной смеси

$$P'_{\text{см}} = 100 - \frac{17,46}{743,5} \cdot 100 = 97,65\%.$$

Зольность сброженной смеси

$$Z'_{\text{см}} = 100 - \frac{9,94 \cdot 10000}{17,46 \cdot (100 - 6)} = 39,44\%.$$

### 5.2.7 Расчет газгольдеров

Удельный выход газа

$$\Gamma_{\text{уд}} = \frac{44,46}{100 \cdot 1} = 0,4446 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Суммарный выход газа

$$\Gamma = \frac{44,46 \cdot 17,9 \cdot 1000}{100} = 7958,34 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Съем газа с одного метантенка в сутки

$$\Gamma_{\text{mt}} = \frac{7959,34}{3} = 2652,8 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Вместимость газгольдеров равна

$$V_{\Gamma} = \frac{7958,34 \cdot 3}{24} = 994,8 \text{ м}^3.$$

Применяем 3 типовых газгольдера объемом по 300 м<sup>3</sup> каждый (*прил. Л*), что обеспечит сбор газа за 2,7 часа.

Расход тепла на обогрев свежего осадка в метантенках определяется по формуле

$$G_{об} = (1 + 0,1) \cdot 743,5 \cdot 4,19 \cdot (33 - 15) \cdot 1000 = 61682,2 \text{ тыс. ккал/сут.}$$

Компенсация теплотерь всего объема (за вычетом добавления свежего осадка)

$$G_{ох} = (7500 - 743,5) \cdot 1000 \cdot 1 = 6756,5 \text{ тыс. ккал/сут.}$$

Общее необходимое количество тепла

$$G_{\Gamma} = 61682,2 + 6756,5 = 68438,7 \text{ тыс. ккал/сут.}$$

Требуемая расчетная теплопроизводительность котельной установки с учетом КПД определяется по формуле

$$G_{расч} = \frac{68438,7}{0,8} = 85548,4 \text{ тыс. ккал/сут.}$$

Необходимое расчетное количество пара при теплоотдаче 1 кг пара 550 ккал составит

$$G_{\Pi} = \frac{85548,4}{550} = 155,5 \text{ т/сут.}$$

Количество тепла, выделяемого при сжигании биогаза, при теплопроводной способности газа 5000 ккал/м<sup>3</sup> составит

$$G'_{\Gamma} = 2652,8 \cdot 5000 = 13264 \text{ тыс. ккал/сут.}$$

Та как  $G_{расч} > G'_{\Gamma}$  можно сделать вывод о том, что при сжигании газа, образующегося в метантенках, получаемого тепла в полной мере недостаточно для поддержания мезофильных условий, но можно компенсировать около 20% затрат.

### 5.2.8 Расчет аэробных стабилизаторов

Рассчитаем следующие варианты:

- 1) аэробная стабилизация *неуплотненного активного ила*;
- 2) аэробная стабилизация *смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила*.

Возраст ила

$$\tau = \frac{5,4 \cdot 2 \cdot 1000}{127,25 \cdot 24} = 3,5 \text{ сут.}$$

Время стабилизации *неуплотненного активного ила* в стабилизаторе

$$t_{ил} = \frac{[8 + 0,02 \cdot (20 - 18) \cdot (3,5 + 5)]}{1,08^{20-15}} = 5,7 \text{ сут.}$$

Удельный расход кислорода

$$q_{\text{ил}} = \frac{0,96 + 0,016 \cdot 3,5}{1 + 0,108 \cdot 3,5} = 0,74 \text{ кг О}_2/\text{кг ОВ}.$$

Требуемый объем аэробного стабилизатора

$$V = 2760 \cdot 5,7 = 15732 \text{ м}^3.$$

В качестве стабилизаторов принимаем типовые аэротенки-вытеснители четырехкоридорные, 2 секции. Размеры одного коридора: ширина 6 м, рабочая глубина 4,4 м, тогда длина 75 м (*прил. Н*).

Концентрация беззольного вещества в поступающем на стабилизацию неуплотненном иле

$$S_0 = \frac{9,8 \cdot 1000}{2760} = 3,55 \text{ кг/м}^3.$$

Коэффициент, учитывающий температуру сточных вод

$$n_1 = 1 + 0,02 \cdot (25 - 20) = 1,1.$$

Требуемое количество воздуха

$$D = \frac{0,74 \cdot 3,55 \cdot 1000}{0,75 \cdot 2,52 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 9,4} = 158,2 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

При расчете продолжительности аэробной стабилизации **смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила** необходимо определить отношение беззольного вещества осадка к беззольной смеси

$$B = \frac{8,1}{17,9} = 0,45.$$

Период стабилизации активного ила и сырого осадка

$$t_c = 5,7 + 2 \cdot 0,45 = 6,6 \text{ сут.}$$

Удельное количество кислорода для смеси осадка и ила

$$q_c = 0,74 \cdot (1 + 0,4 \cdot 0,45 \cdot \sqrt{3,5}) \approx 1 \text{ кг О}_2/\text{кг БЗ}.$$

Требуемый объем стабилизатора

$$V_c = 2992,4 \cdot 6,6 = 19749,84 \text{ м}^3.$$

В качестве стабилизаторов принимаем типовые аэротенки-вытеснители четырехкоридорные, 5 секций. Размеры одного коридора: ширина 4,5 м, рабочая глубина 4,4 м, тогда длина – 50 м (*прил. Н*).

Концентрация беззольного вещества смеси сырого осадка и избыточного уплотненного активного ила

$$S_0 = \frac{17,9 \cdot 1000}{2992,4} \approx 6 \text{ кг/м}^3.$$

Необходимое удельное количество воздуха

$$D = \frac{1,0 \cdot 6,0 \cdot 1000}{0,75 \cdot 2,92 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 9,4} = 311,7 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

### 5.2.9 Обезвоживание осадков

В случае проектирования только **обезвоживания в естественных условиях** полезная площадь иловых площадок

$$F = \frac{743,5 \cdot 365}{1 \cdot 1,1} = 246707 \text{ м}^2.$$

Принимаем карты размерами 100x100 м, тогда площадь каждой карты 10000 м<sup>2</sup>, а их количество равно

$$\frac{246707}{10000} \approx 24 \text{ шт.}$$

Дополнительная площадь иловых площадок, занимаемая валиками, дорогами, канавами принимается равной

$$F_{\text{доп}} = 0,3 \cdot 246707 = 74012 \text{ м}^2.$$

Тогда общая площадь иловых площадок

$$F_{\text{общ}} = 246707 + 74012 = 320719 \text{ м}^2.$$

Высота слоя намораживания

$$h_1 = \frac{743,5 \cdot 25 \cdot 0,75}{246707 \cdot 0,8} = 0,07 \text{ м.}$$

Объем подсушенного осадка (влажность 80%) за год равен

$$W_{\text{п}} = 743,5 \cdot 365 \cdot \frac{100 - 97,6}{100 - 80} = 32565,3 \text{ м}^3.$$

При проектировании **цеха механического обезвоживания осадков с использованием центрифугирования** принимаем для расчета следующий вариант:

- время работы цеха в сутки – 20 часов;
- к установке принимаем центрифуги производства «СВВ DECANTER» тип CD40SI производительностью 18 м<sup>3</sup>/час (1 рабочая) и CD40 производительностью 20 м<sup>3</sup>/час (1 рабочая + 1 резервная);
- кондиционирование – химическое, с использованием флокулянта на основе ПАА в количестве 5 кг на 1 т сухого вещества обрабатываемого осадка.

Расчетное количество перерабатываемого центрифугами осадка

$$Q_{\text{ос}} = 1 \cdot 360 + 1 \cdot 400 = 760 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество сухого вещества осадка

$$Q_{\text{сух.в}} = \frac{760 \cdot (100 - 97,65)}{100} = 17,9 \text{ т/сут.}$$

Количество кека, полученного в результате центрифугирования

$$Q_{\text{кека}} = \frac{760 \cdot (100 - 97,65)}{100 - 70} = 59,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Необходимое количество флокулянта

$$Q_{\text{фл}}^{\text{сут}} = 5 \cdot 17,9 = 89,5 \text{ кг/сут.}$$

Расход флокулянта в час равен

$$Q_{\text{фл}}^{\text{час}} = \frac{89,5}{20} = 4,5 \text{ кг/ч.}$$

Необходимое количество флокулянта в год

$$Q_{\text{фл}}^{\text{год}} = 89,5 \cdot 365 = 32667,5 \text{ кг/год} = 32,7 \text{ т/год.}$$

Количество «материнского» раствора 1% концентрации

$$Q_{1\%} = \frac{89,5 \cdot 100}{1000 \cdot 1} = 8,95 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,45 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Количество рабочего раствора 0,15% концентрации

$$Q_{0,15\%} = \frac{8,95 \cdot 1}{0,15} = 59,7 \text{ м}^3/\text{сут} \approx 3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество рабочего 0,15% раствора флокулянта на 1 м<sup>3</sup> осадка

$$q_{0,15\%} = \frac{59,7}{760} \cdot 1000 = 78,6 \text{ л/м}^3 \cdot \text{сут}.$$

Количество рабочего раствора на каждую центрифугу составит:

- для центрифуги типа CD40SI – 18·78,6 = 1414,8 л/ч;

- для центрифуги типа CD40 – 20·78,6 = 1572 л/ч.

Результаты проведенных расчетов приведены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Параметры принятых центрифуг

Количество центрифуг (рабоч. + резервн.)		Производительность		Кол-во кека Р=70%, м <sup>3</sup> /сут.	Кол-во кека с центрифуги, м <sup>3</sup> /ч
		По осадку Р=97,6%, м <sup>3</sup> /сут.	По сухому веществу осадка, т/сут.		
CD40SI	1 + –	760	17,9	59,5	1,4
CD40	1 + 1				1,6

Таблица 5.2 – Расход флокулянта

Расход флокулянта			
По сухому продукту при Д=5 кг/т, кг/сут.	«Материнский» раствор 1,0%, м <sup>3</sup> /сут.	Рабочий раствор 0,15%, м <sup>3</sup> /сут.	Кол-во 0,15% раствора на 1 м <sup>3</sup> осадка, л/м <sup>3</sup>
89,5	8,95	59,7	78,6

При проектировании механического обезвоживания осадка необходимо предусмотреть **аварийные иловые площадки** на 20% годового количества осадка и **площадки для хранения механически обезвоженного осадка** в объеме 3-4-месячного производства.

Расчет выполняем на общее количество осадка:

для аварийных иловых площадок

$$M_{ав} = (743,5 \cdot 365) \cdot 0,2 = 54275,5 \text{ м}^3;$$

для механически обезвоженного осадка

$$M_{об} = 59,7 \cdot 30 \cdot 3 = 5373,0 \text{ м}^3;$$

общее количество осадка

$$M' = 54275,5 + 5373,0 = 59648,5 \text{ м}^3.$$

Полезная площадь иловых площадок

$$F = \frac{59648,5}{1 \cdot 1,1} = 54226 \text{ м}^2.$$

Принимаем карты размерами 50x100 м, тогда площадь каждой карты 5000 м<sup>2</sup>, а их количество равно

$$\frac{54226}{5000} \approx 12 \text{ шт.}$$

Дополнительная площадь иловых площадок, занимаемая валиками, дорогами, канавами

$$F_{\text{доп}} = 0,3 \cdot 54226 = 16267,8 \text{ м}^2.$$

Тогда общая площадь иловых площадок

$$F_{\text{общ}} = 54226,0 + 16267,8 = 70493,8 \text{ м}^3.$$

### 5.2.10 Расчет сооружений для обработки осадков водопроводной станции

#### Исходные данные для расчета:

⇒ общий расход очищаемой воды (с учетом собственных нужд станции и противопожарного запаса)  $Q_{\text{полн}} = 85000 \text{ м}^3/\text{сут.};$

⇒ содержание взвешенных веществ в исходной воде  $C_{\text{исх}} = 242 \text{ мг/дм}^3;$

⇒ цветность воды  $\text{Ц} = 45 \text{ град. Пкш};$

⇒ доза безводного коагулянта сульфата алюминия  $D_{\text{к}} = 38 \text{ мг/дм}^3;$

⇒ доза извести по СаО  $D_{\text{изв}} = 12 \text{ мг/дм}^3;$

⇒ данные по фильтровальной станции:

– количество фильтров – 10;

– площадь одного фильтра –  $54 \text{ м}^2;$

– количество промывок каждого фильтра в сутки – 2;

– интенсивность промывки –  $16 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2;$

– продолжительность промывки – 0,1 ч;

– скорость фильтрования – 7 м/ч.

Содержание нерастворенных веществ, вводимых вместе с известью

$$B_{\text{и}} = \frac{12}{0,4} - 12 = 18 \text{ г/м}^3.$$

Концентрация взвешенных веществ на входе в отстойник

$$C_{\text{вх}} = 242 + 0,5 \cdot 38 + 0,25 \cdot 45 + 18 = 290,25 \text{ г/м}^3.$$

Объем осадка, образующегося в отстойниках

$$V_{\text{отст}} = \frac{(290,25 - 8) \cdot 85000}{32000} = 749,73 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Суточный объем промывной воды фильтров

$$Q_{\text{пр}} = \frac{16 \cdot (0,1 \cdot 3600) \cdot (10 \cdot 54) \cdot 2}{1000} = 6220,8 \text{ м}^3.$$

Средняя концентрация загрязнений в промывной воде фильтров равна

$$C_{\text{пр}} = \frac{(8 - 0,5) \cdot 85000}{6220,8} = 102,5 \text{ г/м}^3.$$

С учетом дополнительных  $0,5 \text{ г/м}^3$  взвешенных веществ, содержащихся в воде, подаваемой на промывку (чистой из РЧВ),  $C_{\text{пр}} = 103 \text{ г/м}^3.$



Объем осадка, выделяющегося при отстаивании промывной воды фильтров в резервуаре-усреднителе

$$V_{\text{рез}} = \frac{(103 - 18) \cdot 6220,8}{12000} = 44,1 \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где 18 – содержание взвешенных веществ в отстаивной промывной воде после резервуара-усреднителя, г/м<sup>3</sup>; определено исходя из средней эффективности работы резервуара-усреднителя 74,9-86,3%.

Основными сооружениями для приема и обработки промывных вод и осадков являются:

- резервуар-усреднитель промывной воды, из которого вода равномерно в течение суток перекачивается в головной узел водоочистных сооружений (перед смесителем);

- сгуститель осадка;

- емкости для растворов реагентов;

- насосы перекачки.

Емкость резервуара-усреднителя равна:

$$V_p = V_{\text{пр}} + V_{\text{н}} + V_{\text{ф}} \text{ м}^3.$$

где  $V_{\text{пр}}$  – остаточный объем промывной воды фильтров (не откачанный) в резервуаре-усреднителе, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{н}}$  – объем образующейся надсосадочной жидкости (декантата), м<sup>3</sup>;

$V_{\text{ф}}$  – объем фильтрата после мехобезвоживания, м<sup>3</sup>.

Определение остаточного объема промывной воды фильтров (не откачанного) в резервуаре-усреднителе приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Определение остаточного объема промывной воды фильтров в резервуаре-усреднителе

Часы суток	Подача промывной воды, м <sup>3</sup>	Откачка насосами, м <sup>3</sup>	Поступление в резервуар, м <sup>3</sup>	Расход из резервуара, м <sup>3</sup>	Остаток в резервуаре, м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
0 – 1	311,04	259,2	51,84	-	51,84
1 – 2	311,04	259,2	51,84	-	103,68
2 – 3	311,04	259,2	51,84	-	155,52
3 – 4	311,04	259,2	51,84	-	207,36
4 – 5	311,04	259,2	51,84	-	259,2
5 – 6	311,04	259,2	51,84	-	311,04
6 – 7	311,04	259,2	51,84	-	362,88
7 – 8	311,04	259,2	51,84	-	414,72
8 – 9	311,04	259,2	51,84	-	466,56
9 – 10	311,04	259,2	51,84	-	518,4
10 – 11	-	259,2	-	259,2	259,2
11 – 12	-	259,2	-	259,2	0
12 – 13	311,04	259,2	51,84	-	51,84
13 – 14	311,04	259,2	51,84	-	103,68

Часы суток	Подача промывной воды, м <sup>3</sup>	Откачка насосами, м <sup>3</sup>	Поступление в резервуар, м <sup>3</sup>	Расход из резервуара, м <sup>3</sup>	Остаток в резервуаре, м <sup>3</sup>
1	2	3	4	Продолжение таблицы 5.3	
14 – 15	311,04	259,2	51,84	-	155,52
15 – 16	311,04	259,2	51,84	-	207,36
16 – 17	311,04	259,2	51,84	-	259,2
17 – 18	311,04	259,2	51,84	-	311,04
18 – 19	311,04	259,2	51,84	-	362,88
19 – 20	311,04	259,2	51,84	-	414,72
20 – 21	311,04	259,2	51,84	-	466,56
21 – 22	311,04	259,2	51,84	-	518,4
22 – 23	-	259,2	-	259,2	259,2
23 – 24	-	259,2	-	259,2	0
<b>ИТОГО</b>	6220,8	6220,8	1036,8	1036,8	

Таким образом,  $V_{\text{пр}} = 518,4 \text{ м}^3$ .

Объем исходного осадка, подаваемого в осадкоуплотнитель в сутки, равен

$$V_{\text{исх}} = 749,73 + 44,1 = 793,83 \text{ м}^3.$$

Объем уплотненного осадка равен

$$V_{\text{упл}} = \frac{793,83 \cdot (100 - 99)}{(100 - 94)} = 132,3 \text{ м}^3.$$

Объем образующейся надосадочной жидкости (декантата)

$$V_{\text{н}} = 793,83 - 132,3 = 661,53 \text{ м}^3.$$

Объем уплотненного осадка с учетом добавок для обезвоживания

$$V'_{\text{упл}} = V_{\text{упл}} = 132,3 \text{ м}^3 \text{ (принимая добавку ПАА, который не увеличивает}$$

количество сухого вещества осадка).

Объем осадка после мехобезвоживания

$$V_{\text{об}} = \frac{132,3 \cdot (100 - 94)}{(100 - 70)} = 26,46 \text{ м}^3.$$

Объем фильтрата после мехобезвоживания

$$V_{\text{ф}} = 132,3 - 26,46 = 105,84 \text{ м}^3.$$

Таким образом, емкость резервуара усреднителя должна быть не менее

$$V_{\text{р}} = 518,4 + 661,53 + 105,84 = 1285,77 \text{ м}^3.$$

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Тема 1 ВИДЫ, СОСТАВ И СВОЙСТВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Загрязнения, находившиеся в сточных водах в относительно разбавленном виде, при очистке сточных вод задерживают и концентрируют, в результате получают осадки сточных вод.

К первичным осадкам относят грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле. Ко вторичным осадкам относят примеси, которые изначально находятся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессах биологического или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образуют твердую фазу.

Элементарный состав сухого вещества осадков колеблется в широких пределах. Для обоснования технологии переработки и утилизации осадков необходимы сведения о различных свойствах осадков.

*Контрольные вопросы:*

1. Назовите виды осадков сточных вод.
2. Какие выделяют классы токсичности осадков сточных вод по степени их опасности?
3. Какие выделяют классы осадков сточных вод по их воздействию на окружающую среду?
4. Дайте характеристику качественных свойств осадков сточных вод.
5. В каком состоянии находится вода в составе осадков сточных вод?
6. Как химический состав осадков влияет на их водоотдачу?
7. Как содержание влаги влияет на объем осадков?
8. Как рассчитать количество загрязнений, которые снимают с решетки?
9. Как рассчитать количество осадка, задерживаемого в песколовках?
10. Охарактеризуйте особенности состава и свойств сырого осадка.
11. Какие виды осадка выделяют в зависимости от методов его обработки?
12. Что такое удельное сопротивление осадка фильтрации?
13. Сравните осадки с точки зрения их влагоотдачи.
14. Какие параметры применяют для описания свойств осадков?

## **Тема 2 ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

Основная задача обработки осадков сточных вод заключается в получении конечного продукта, свойства которого обеспечивали бы возможность его утилизации или свели к минимуму ущерб, наносимый окружающей среде, и проводится с целью уменьшения объема осадков и их обеззараживания. Технологические процессы обработки осадков сточных вод можно разделить на следующие основные стадии: уплотнение (сгущение) стабилизация органической части; кондиционирование; обезвоживание; термическая обработка; утилизация ценных продуктов; ликвидация осадков.

Выбор рациональной технологической схемы обработки осадков является сложной инженерно-экономической и экологической задачей, правильное решение которой требует обязательного учета производительности очистной станции, местных условий (климатических, гидрогеологических, градостроительных, агротехнических, обеспеченность реагентами, горючим, технологическим транспортом и т.п.), выполнение предварительных экспериментальных исследований способности осадков к водоотдаче, их

физико-химических, теплофизических и агрономических характеристик. Но в любом случае технологическая схема основывается на комбинации различных методов обработки осадков.

*Контрольные вопросы:*

1. Какова основная задача обработки осадков сточных вод?
2. Назовите основные стадии обработки осадков сточных вод.
3. Опишите последовательность технологических операций, применяемых для обработки осадков сточных вод?
4. Для чего осуществляют уплотнение осадков сточных вод?
5. Назовите способы уплотнения осадков сточных вод.
6. Какова цель стабилизации осадков сточных вод?
7. Назовите способы стабилизации осадков сточных вод.
8. Для чего проводят кондиционирование и обезвоживание осадков сточных вод?
9. Опишите принципиальную технологическую схему образования и переработки осадков городских сточных вод.

### **Тема 3 УПЛОТНЕНИЕ И СГУЩЕНИЕ ОСАДКОВ**

Уплотнение – наиболее распространенный способ уменьшения объема осадка. В процессе деятельности микроорганизмов количество активного ила непрерывно увеличивается, при этом образуется избыточный активный ил, который отделяют от рециркуляционного (направляемого в аэротенки). Учитывая высокую влажность избыточного активного ила (до 99,2-99,7%), необходимо осуществлять его уплотнение.

Уплотнение – наиболее простой и дешевый метод снижения влажности и объема осадков, подлежащих дальнейшей обработке. Обычно уплотняют избыточный активный ил, в отдельных случаях – смесь активного ила и сырого осадка, достаточно редко – сырой осадок. Уплотняют также анаэробно сброженные и аэробно стабилизированные осадки. Используют гравитационные методы, флотационное и сепарационное уплотнение осадков.

Поскольку влажность уплотненного осадка резко уменьшается, то объем сооружений при дальнейшей его обработке также сокращается.

*Контрольные вопросы:*

1. Для чего проводят уплотнение осадков сточных вод?
2. Какие осадки подвергают уплотнению?
3. Охарактеризуйте гравитационный метод уплотнения осадков?
4. Какую воду удаляют в процессе уплотнения активного ила?
5. Какие факторы влияют на процесс уплотнения осадков?
6. Какие сооружения применяют для уплотнения осадков сточных вод?
7. Как можно интенсифицировать работу илоуплотнителей?
8. Как определить объем уплотненного ила?
9. Охарактеризуйте флотационный метод уплотнения осадков.
10. Назовите преимущества флотационных илоуплотнителей.
11. Опишите технологическую схему работы флотационной установки для уплотнения избыточного активного ила.
12. Охарактеризуйте центробежное уплотнение иловых суспензий.

## Тема 4 СТАБИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ

Осадки сточных вод подвержены процессам гниения, которые сопровождаются выделением зловонных запахов, образованием коллоидных и мелкодисперсных частиц, ухудшением водоотдачи. Поэтому осадки подвергают стабилизации – специальной обработке, которая изменяет их физико-химические свойства и подавляет жизнедеятельность гнилостных бактерий, чем предотвращают загнивание осадков.

Стабилизацию органического вещества осадка осуществляют с помощью микроорганизмов в анаэробных и аэробных условиях. Органические вещества твердой фазы осадка переводят в стабильные вещества: двуокись углерода, метан и воду.

Анаэробную стабилизацию или сбраживание осуществляют в септиках, двухъярусных отстойниках или осветлителях, метантенках.

Аэробную стабилизацию осуществляют в аэрационных сооружениях типа аэротенков; она заключается в длительном аэрировании осадка.

### *Контрольные вопросы:*

1. Для чего осадки сточных вод подвергают стабилизации?
2. В каких условиях и сооружениях осуществляют стабилизацию осадков сточных вод?
3. Опишите процесс аэробной стабилизации осадков сточных вод.
4. Какие сооружения используют для аэробной стабилизации осадков сточных вод?
5. Какие факторы влияют на эффективность процесса аэробной стабилизации?
6. Какова продолжительность процесса аэробной стабилизации осадков?
7. Опишите схемы процесса аэробной стабилизации осадков.
8. Как аэробная стабилизация осадков влияет на содержание в их составе патогенной микрофлоры?
9. Назовите преимущества и недостатки аэробных стабилизаторов.
10. Опишите процесс анаэробной стабилизации осадков сточных вод.
11. Назовите стадии анаэробного метанового сбраживания осадков.
12. Назовите основные технологические параметры, определяющие эффективность процесса анаэробного сбраживания осадков.
13. Как химический состав осадка влияет на процесс его сбраживания?
14. Назовите температурные режимы жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов.
15. Как определяют суточную дозу загрузки осадка в камере сбраживания?
16. Какое значение имеет перемешивание содержимого камеры сбраживания?
17. Охарактеризуйте работу септиков.
18. Охарактеризуйте работу двухъярусных отстойников.
19. Охарактеризуйте работу осветителей-перегнивателей.
20. Охарактеризуйте работу метантенков.
21. Какие режимы сбраживания могут быть в метантенках?
22. Какую форму резервуаров метантенков считают наилучшей?
23. Как осуществляют перемешивание ила в метантенках?
24. Назовите основные требования к реакторам сбраживания осадков.

25. Опишите схемы нагревательных устройств содержимого метантенков.
26. Какие мероприятия необходимо обеспечить для стабилизации процессов анаэробного сбраживания осадков сточных вод и интенсификации работы метантенков?
27. Как можно реализовать аэробно-анаэробные и анаэробно-аэробные процессы стабилизации?
28. Опишите схему аэробно-анаэробной стабилизации осадка.
29. Опишите схему анаэробно-аэробной стабилизации осадка.

### **Тема 5 КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ОСАДКОВ**

Для улучшения влаготдачи осадков необходимо провести их кондиционирование, то есть изменить структуру их твердой фазы перед обезвоживанием или утилизацией. Обычно осадки кондиционируют перед механическим обезвоживанием, а в отдельных случаях – перед естественным.

Метод кондиционирования в значительной степени определяет производительность аппаратов для обезвоживания осадка, загрязненность иловой воды и конечную влажность обезвоженного осадка.

Кондиционирование осадка может осуществляться реагентными и безреагентными методами.

При реагентном кондиционировании применяют минеральные коагулянты и органические флокулянты. К реагентным относят также метод обезвоживания осадка с помощью присадочных материалов (вспомогательных веществ). Такой метод кондиционирования вызывает укрупнение частиц осадков, ослабляет силу сцепления воды с твердыми частицами. Изменение структуры осадков приводит к количественному перераспределению форм связи влаги с увеличением содержания свободной воды за счет уменьшения общего количества связанной влаги, что позволяет добиваться более глубокого и быстрого их обезвоживания.

К безреагентным методам кондиционирования относят промывку и уплотнение осадков; высокотемпературную обработку, замораживание-таяние; ультразвуковую или магнитную обработку осадков.

#### *Контрольные вопросы:*

1. Для чего осадки сточных вод подвергают кондиционированию?
2. Назовите методы кондиционирования осадков?
3. Какие процессы лежат в основе реагентных методов кондиционирования осадков?
4. Почему уменьшается удельное сопротивление осадков фильтрации при их промывке?
5. Какой водой осуществляют промывание осадков?
6. Для каких осадков применяют кондиционирование промывкой?
7. Какие реагенты применяют для кондиционирования осадков сточных вод?
8. Как флокулянты влияют на свойства осадков сточных вод?
9. Какое оборудование рекомендуется применять для приготовления растворов флокулянтов?
10. Какие технологические схемы применяют для приготовления рабочего

- раствора порошкообразного флокулянта?
11. Опишите схему установки одностадийного растворения и дозирования флокулянта.
  12. Опишите схему установки двухстадийного растворения и дозирования флокулянта.
  13. Опишите схему установки приготовления раствора флокулянта с использованием ФАБ-мини.
  14. Назовите безреагентные методы кондиционирования осадка.

## **Тема 6 МЕТОДЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ**

Существенное уменьшение объема осадков сточных вод осуществляют или в естественных условиях (на иловых площадках, иловых прудах), или в искусственных условиях (на фильтр-прессах, вакуум-фильтрах, центрифугах и др.) После обезвоживания осадки уменьшаются в объеме в 7-15 раз, то есть имеют влажность 55-80%.

Наиболее распространенным методом обезвоживания осадка является сушка его на иловых площадках различных конструкций. Применяют иловые площадки на естественном основании с дренажем и без дренажа, на искусственной дренирующей основе, на асфальтобетонной основе с дренажем, а также каскадные иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды, иловые площадки с гравийным колодцами, площадки-уплотнители, площадки с механическим удалением осадка или любой другой конструкции.

Обезвоживание осадков сточных вод на иловых площадках для очистных сооружений средней и большой производительности часто оказывается невозможным из-за отсутствия свободных земельных площадей. Поэтому на таких станциях применяют механическое обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах или других аппаратах.

### *Контрольные вопросы:*

1. До каких значений снижают влажность осадков сточных вод при их обезвоживании?
2. Охарактеризуйте естественное обезвоживание осадка на иловых площадках.
3. Каков механизм действия иловых площадок?
4. От каких факторов зависит площадь иловых площадок?
5. Как осуществляют отвод иловой воды с иловых площадок?
6. Назовите аппараты, применяемые для механического обезвоживания осадков сточных вод.
7. Опишите механизм обезвоживания осадка на вакуум-фильтрах.
8. Как работает барабанный вакуум-фильтр?
9. Назовите преимущества барабанных вакуум-фильтров со сходящим полотном.
10. Опишите механизм обезвоживания осадка на фильтр-прессах.
11. Опишите схему узла вакуум-фильтрования осадка с реагентной подготовкой.
12. Опишите технологическую схему фильтр-прессования осадков.

13. Опишите механизм обезвоживания осадка на центрифугах.
14. Какие виды осадка подлежат обезвоживанию методом центрифугирования?
15. Опишите схему раздельного центрифугирования сырого осадка и активного ила.
16. Опишите комбинированную схему центрифугирования осадков сточных вод.
17. Сравните методы и аппараты для механического обезвоживания осадков.

### **Тема 7 ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКОВ**

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

При использовании осадков в качестве удобрения 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 обеззараживать в жидком виде, после подсушивания на иловых площадках и после механического обезвоживания.

Для обеззараживания и обезвреживания осадков могут использовать термические (прогревание, сушка, сжигание), биотермические (компостирование), химические (обработка химическими веществами) и биологические (уничтожение микроорганизмами, простейшими, грибами и растениями почвы) методы, а также различные виды физического воздействия: радиация, ток высокой частоты, ультразвук, ультрафиолетовое облучение. В наше время на практике используют в основном термические, биохимические и химические методы обеззараживания осадков.

#### *Контрольные вопросы:*

1. Почему надо проводить обеззараживание осадков сточных вод?
2. Назовите методы обеззараживания осадков?
3. Какие осадки подвергают обеззараживанию?
4. Опишите обеззараживание жидких осадков нагреванием.
5. Как проводят химическое обеззараживание осадков?
6. В чем заключается радиационный способ обеззараживания осадка?
7. Как осуществляют дегельминтизацию осадков?
8. Опишите схему установки для дегельминтизации осадков?
9. Охарактеризуйте биотермическую обработку (компостирование) осадков сточных вод.

### **Тема 8 ТЕРМИЧЕСКАЯ СУШКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

Термическая сушка предназначена для обеззараживания и уменьшения массы осадков сточных вод, предварительно обезвоженных на вакуум-



фильтрах, центрифугах или фильтр-прессах. Этот прием упрощает задачу удаления осадков с территории очистных станций и их дальнейшей утилизации.

Осадок после термической сушки не загнивает, свободен от гельминтов и патогенных микроорганизмов, является снаружи сухим (влажностью 10-50%) сыпучим материалом.

Повышенное содержание сухих веществ и существенное сокращение объема осадка при термической сушке сопровождается высокой степенью стабилизации получаемой массы за счет блокирования деятельности микроорганизмов, вызывающих процессы загнивания. Благодаря оптимальному подбору времени пребывания осадков в аппарате и поддерживаемой в нем температуры удается обеспечить полное разложение патогенных микроорганизмов, что дает возможность беспрепятственного использования высушенного осадка в сельском хозяйстве. Высушенный осадок может быть получен в удобной для пользователя форме: в виде порошка, гранул различных размеров и форм, окатышей и даже кирпича. При этом возможность изменения формы высушенного осадка обеспечивает различные направления его утилизации.

При проектировании установок термической сушки осадков следует особое внимание обращать на риски, связанные с высокой вязкостью обрабатываемого осадка на промежуточных стадиях процесса сушки и появлением мелких органических частиц в теплой воздушной среде.

Используемые аппараты различают главным образом по способу передачи тепла – прямой или косвенный нагрев. Применяют различные способы термической сушки: конвективный, радиационно-конвективный, кондуктивный, сублимация в электромагнитном поле.

#### *Контрольные вопросы:*

1. Для чего проводят термическую обработку осадков сточных вод?
2. Какие есть способы термической сушки осадков?
3. Какие применяют сушилки конвективного типа?
4. Опишите принцип действия барабанной сушилки.
5. Какая предварительная обработка осадка необходима перед его загрузкой в барабанную сушилку?
6. Как работает ленточная сушилка?
7. В чем заключается суть метода сушки осадков во встречных потоках?
8. Охарактеризуйте схему установки для сушки осадка в сушилке с фонтанирующим слоем.
9. При каких условиях рекомендуют применять вакуумные сушилки?
10. Дайте оценку методов термической сушки осадков сточных вод.

### **Тема 9 ЛИКВИДАЦИЯ ОСАДКОВ**

Ликвидацию осадков сточных вод применяют в тех случаях, когда утилизация невозможна или экономически нецелесообразна. Выбор метода ликвидации осадков определяется их составом, а также размещением и планировкой очистной станции или промышленного предприятия.

Сжигание – один из самых распространенных методов ликвидации осадков сточных вод, который является наиболее эффективным средством, обеспечивающим максимальное уменьшение объема осадка и его обеззараживание. Сжигание осадка сточных вод позволяет полностью ликвидировать органическую часть осадка; неорганическая часть, оставшаяся после сжигания, имеет минимальный объем, полностью стерилизуется.

К временным мерам по ликвидации осадков относят сброс жидких осадков в накопители и закачку осадков в земляные пустоты.

Почти во всех процессах очистки сточных вод (механическом, физико-химическом, химическом) получают твердые минерализованные осадки – шламы. Чтобы предотвратить при их депонировании заражение подземных вод и поверхностных водных источников, применяют накопители. В них используют противодиффузионные устройства, обеспечивающие надежную работу сооружений и исключают утечку сточной жидкости. Вид накопителя определяет характер сточных вод или твердых отходов.

#### *Контрольные вопросы:*

1. Применение ликвидации осадков сточных вод.
2. Охарактеризуйте метод ликвидации осадков сжиганием.
3. Назовите возможности термической переработки (сжигания) осадка.
4. Опишите технологическую схему сушки осадка на Юго-Западной станции аэрации Чикаго.
5. Опишите схему сушки осадка в распылительных сушилках с кипящим слоем.
6. Опишите схему сушки осадка в многоподовых печах.
7. Опишите схему установки для сжигания осадков сточных вод и твердых отходов.
8. Опишите технологическую схему завода по сжиганию осадка сточных вод ЮЗОС.
9. Какая может быть экологическая эффективность при сжигании осадка сточных вод по сравнению с другими методами обработки осадка?
10. Охарактеризуйте метод ликвидации осадков сбросом жидких осадков в накопители и закачкой осадков в земляные пустоты.
11. Какие применяют накопители для осадков сточных вод?

### **Тема 10 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

Любая технологическая схема обработки осадков должна отвечать следующим требованиям:

- возможность использования или ликвидации осадка;
- целесообразность использования побочных продуктов (газа, тепла);
- экономия площадей, занимаемых очистными сооружениями.

Ту или иную схему применяют в определенном ограниченном диапазоне производительности сооружений для обработки осадка.

#### *Контрольные вопросы:*

1. Каким требованиям должна отвечать любая технологическая схема обработки осадков?

2. Опишите комплексную схему центрифугирования и аэробной минерализации активного ила и смеси фугатов.
3. Дайте характеристику комплексной схеме анаэробного сбраживания.
4. Как работает схема вакуум-фильтрации и термической сушки осадков?
5. Охарактеризуйте комплексную схему аэробной минерализации, тепловой обработки и фильтр-прессования осадков.
6. Какие аппараты применяют в схеме отдельного центрифугирования сырого осадка и активного ила?
7. Опишите комбинированную схему центрифугирования осадков сточных вод.
8. Как реализуют реагентную подготовку при вакуум-фильтрации осадка?
9. Как работает технологическая схема фильтр-прессования осадков?
10. За счет каких процессов можно перевести органическую составляющую осадков в нетоксичные соединения, растворимые в воде, а тяжелые металлы неорганической составляющей осадков – в нерастворимые в воде соединения?
11. Дайте характеристику технологической схеме обработки осадков, которая включает сгущение, механическое обезвоживание и низкотемпературную сушку.
12. Охарактеризуйте процессы комплексной термической переработки иловых осадков и хозяйственных стоков с получением энергетических продуктов, органоминеральных удобрений и почвогрунта.
13. Для чего проводят выщелачивание тяжелых металлов из осадков сточных вод?
14. Какие процессы реализуют в технологической схеме реагентно-биологического выщелачивания тяжелых металлов из осадков городских сточных вод?

## **Тема 11 НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И БИОГАЗА**

Осадки сточных вод (ОСВ) являются ценным материальным и энергетическим ресурсом – они могут использоваться как органоминеральные удобрения или сжигаться с получением тепла. Альтернативными способами утилизации ОСВ является производство различных строительных материалов на основе золы и шлака от сжигания ОСВ; получение тепловой энергии при сжигании высушенных осадков (отдельно или совместно с твердыми бытовыми отходами); использование осадков в составе сорбентов, применяемых для очистки газов канализационных коллекторов; рекультивация почв, карьеров и закрытых свалок путем засыпки высушенными осадками и тому подобное.

В процессе очистки сточных вод единственными сооружениями с положительным энергетическим балансом являются метантенки, в которых в результате анаэробного сбраживания осадков, полученных при очистке сточных вод, образуется биогаз.

Анаэробное сбраживание осадков сточных вод с последующим использованием создаваемого биогаза в качестве энергетического топлива

позволяет решить ряд важных задач как экологического, так и энергетического характера:

- получение стабилизированных незагнивающих осадков;
- использование биогаза для выработки электрической и тепловой энергии;
- снижение загрязнения атмосферы метаном и ликвидация неприятных запахов, выделяемых при перегнивании осадков, то есть предотвращение загрязнения атмосферы газами брожения, а вырабатываемая энергия позволит заменить от 50 до 100% потребляемой энергии канализационными очистными сооружениями.

*Контрольные вопросы:*

1. Назовите основные направления утилизации осадков сточных вод.
2. Как можно использовать обработанные осадки сточных вод в сельском хозяйстве?
3. Какие ценные продукты можно регенерировать из обработанных осадков сточных вод?
4. Назовите технологии использования переработанных осадков сточных вод при производстве строительных материалов?
5. Опишите схему производства биоцемента.
6. Как предлагают осуществлять производство адсорбентов из осадков муниципальных сточных вод?
7. Охарактеризуйте схему получения активированного угля из активного ила методом пиролиза.
8. Дайте характеристику физических свойств и состава биогаза, образующегося при анаэробном сбраживании осадков сточных вод.
9. Какие основные направления утилизации биогаза?
10. Какие необходимые устройства должна иметь биогазовая установка для нормального функционирования?
11. Что такое «биоэнергетика»?
12. Какие основные здания и сооружения должны входить в состав систем использования биогаза в котельных?
13. Какие основные здания и сооружения должны входить в состав систем утилизации биогаза в газовых двигателях внутреннего сгорания с электрогенераторами (двигатель-генераторов)?
14. Опишите схему подготовки биогаза для заправки баллонов.
15. От чего зависит теплотворная способность и количество биогаза?
16. Какие задачи позволяет решить использование биогаза?

## **Тема 12 ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКА ОЧИСТНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СТАНЦИЙ**

Технологическими схемами работы очистных сооружений водопроводных станций предусмотрен расход воды на собственные нужды в количестве от 10 до 14% суточной производительности станции. Это количество в виде промывных вод фильтров или контактных осветлителей (до 90% воды, используемой на собственные нужды станций), а также осадки,

которые образуются при очистке воды, сбрасывают в водоемы, нанося ощутимый вред окружающей среде. Кроме того, ценные компоненты, выбрасываемые с осадком, могли бы использоваться в народном хозяйстве, так как они содержат большое количество органики и элементов минерального происхождения.

Бессточной называют такую схему водоочистки, при которой объем стоков или «хвостов», которые сбрасывают с основной технологической схемы, сведен к нулю, или к таким величинам, учет которых не проводят ввиду их незначительности.

По этой схеме промывные воды фильтров через песколовки, резервуары-накопители возвращают в голову очистных сооружений, а осадок уплотняют, обрабатывают флокулянтами и обезвоживают на фильтр-прессах. Фильтрат, образовавшийся в результате обезвоживания осадков, направляют в резервуар-накопитель и совместно с промывными водами фильтров подают также в голову очистных сооружений. Обезвоженный осадок (кек) можно использовать как компонент сырьевой смеси для производства красного кирпича вместо глины или как удобрения в лесных питомниках и лесопосадках с целью повышения плодородия почвы. Таким образом, сброс в водоемы не проводят, что способствует охране окружающей среды.

*Контрольные вопросы:*

1. Какую схему водоочистки называют бессточной?
2. Опишите принципиальную бессточную схему водоочистки.
3. Какие преимущества имеет оборот промывных стоков?
4. Дайте классификацию источников водоснабжения по характеру осадкообразования.
5. Охарактеризуйте осадки по характерным группам водоисточников Украины.
6. Опишите методы обработки и мехобезвоживания осадков 1 группы.
7. Опишите методы обработки и мехобезвоживания осадков 2 группы.
8. Опишите методы обработки и мехобезвоживания осадков 3 группы.
9. Опишите методы обработки и мехобезвоживания осадков 4 группы.
10. Какие могут быть применены методы утилизации осадков технологических схем водоочистки?

## Приложения

### Приложение А

Таблица А1 – Количество загрязнений, задерживаемых решетками [1, таблица 18]

Ширина прозоров решеток, мм	0,5	1	2	3	6	15	16
Объем отходов, л/год., на одного жителя	45	34	26	22	16	10	8

### Приложение Б

Таблица Б1 – Количество и влажность песка, задерживаемого песколовками [1, таблица 20]

Тип песколовки	Количество задерживаемого песка, л/сут., на 1 жителя	Влажность песка, %
Горизонтальная	0,02	60
Аэрируемая	0,03	40
Тангенциальная	0,02	60

### Приложение В

Таблица В1 – Количество загрязняющих веществ, г/сут., в бытовых сточных водах на 1 жителя [1, таблица 16]

Взвешенные вещества	65
БПК <sub>5</sub> неосветленной жидкости	54
БПК <sub>полн</sub> неосветленной жидкости	75
ХПК неосветленной жидкости	87
Азот общий, в т.ч. азот аммонийных солей	11 8
Фосфор общий, в т.ч. фосфор фосфатов	1,8 1,44
Хлориды	9
ПАВ	2,5

### Приложение Г

Таблица Г1 – Параметры для расчета илоуплотнителей

Характеристика избыточного активного ила	Влажность уплотненного активного ила, %		Продолжительность уплотнения, ч.		Скорость движения жидкости в отстойной зоне вертикального уплотнителя, мм/с
	Уплотнитель				
	вертикальный	радиальный	вертикальный	радиальный	
Иловая смесь из аэротенков с концентрацией 1,5-3,0 г/л	-	97,3	-	5-8	-
Активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 4 г/л	98	97,3	10-12	9-11	Не более 0,1
Активный ил из зоны отстаивания аэротенков-отстойников с концентрацией 4,5-6,5 г/л	98	97,0	16	12-15	То же

## Приложение Д

Таблица Д1 – Основные параметры вертикальных первичных отстойников

Диаметр, м		Высота, м		Расчетная глубина на проточной части, м	Площадь, м <sup>2</sup>			Объем, м <sup>3</sup>	
отстойника	центральной трубы	цилиндрической части	конической части		общая	центральной трубы	полезная	цилиндрической части	конической части
4,5	0,7	3,6	2,45	3,3	12,55	0,38	12,11	51,50	8,35
6	1,0	4,2	3,3	3,8	28,30	0,78	27,50	119,0	32,00
9	1,4	4,2	5,1	3,8	63,30	1,55	62,05	263,0	71,30

## Приложение Е

Таблица Е1 – Основные параметры радиальных отстойников [8, таблица 12.6]

Диаметр, м	Отстойник	Глубина, м		Объем зоны, м <sup>3</sup>	
		H <sub>г</sub>	H <sub>з.о.</sub>	иловой	отстойной
18	Первичный	3,4	3,1	120	788
18	Вторичный	3,7	3,1	160	788
24	Первичный	3,4	3,1	210	1400
24	Вторичный	3,7	3,1	280	1400
30	Первичный	3,4	3,1	340	2190
30	Вторичный	3,7	3,1	440	2190
40	Первичный	4,0	3,6	710	4580
40	Вторичный	4,35	3,65	915	4580

## Приложение Ж

Таблица Ж1 – Суточная доза загрузки осадка в метантенк [8, таблица 36.3]

Режим сбраживания	Суточная доза загружаемого в метантенк осадка D <sub>mt</sub> , %, при влажности осадка, %, не более				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	7	8	9	10	11
Термофильный	14	16	18	20	22

## Приложение И

Таблица И1 – Данные для определения коэффициента K<sub>г</sub> [8, таблица 36.3]

Режим сбраживания	Значения коэффициента K <sub>г</sub> при влажности загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
Мезофильный	1,05	0,89	0,72	0,56	0,40
Термофильный	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17





## Приложение Н

Таблица Н1 – Основные параметры типовых аэротенков-вытеснителей  
[8, таблица 27.7]

Ширина коридора, м	Рабочая глубина аэротенка, м	Число коридоров, м	Рабочий объем одной секции, м <sup>3</sup> , при ее длине, м						
			36 – 42	48 – 54	60 – 66	72 – 78	84 – 90	96 – 102	108 – 114
4,5	3,2	2	1040 - 1213	1386 - 1559	1732	-	-	-	-
		3	1560 – 1820	2080 – 2340	2600	-	-	-	-
		4	2070 – 2416	2762 – 3108	3494 – 3200	-	-	-	-
	4,4	2	1420 – 1658	1896 – 2134	2372	-	-	-	-
		3	2140 – 2496	2852 – 3208	3564	-	-	-	-
		4	2850 – 3325	3800 – 4275	4750 – 5225	-	-	-	-
6	4,4	2		2530 – 2847	3154 – 3471	3788	-	-	-
		3		3800 – 4275	4750 – 5225	5700	-	-	-
		4		5700	5334 – 6968	7602 – 8230	6870	-	-
	5	2		2880 – 3240	3600 – 3960	4230	-	-	-
		3		4320 – 4860	5400 – 5940	6480	-	-	-
		4		6500	7220 – 7940	8666 – 9380	10100	-	-
9	4,4	2		-	-	6180	6655 – 7130	7505 – 7980	8455
		3		-	-	9270	9983 – 10696	11409 – 12122	12835
		4		-	-	-	18300	15200 – 16150	17100 – 18050
	5	2				7020	7560 – 8100	8640 – 9180	9720
		3				10530	11340 – 12150	12960 – 13770	14580
		4					15120 – 16200	17280 – 18360	19440 – 20520

## Приложение II

Таблица П1 – Параметры для определения нагрузки на иловые площадки  
[1, таблица 24]

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

**Примечание.** Для местностей с количеством осадков за год не более чем 500 мм при определении нагрузки на иловые площадки можно применять коэффициент 1,2, при количестве осадков более 600 мм рекомендуется принимать коэффициент 0,9.

## Приложение Р

Таблица Р1 – Основные технические характеристики некоторых типов центрифуг различных производителей

Тип	Гидравлическая производительность, м <sup>3</sup> /ч	Масса, кг	Установленная мощность, кВт
ОГШ-250	5	920	18
В/DF 300 («BARGAM»)		800	7,5
ES-132 («AMCON»)		300	0,4
ОГШ -350	10	1500	40
В/DF 300LH («BARGAM»)		850	11
ES-301 («AMCON»)		750	0,8
ОГШ -630	40	7500	90
В/DF 500H («BARGAM»)		3500	45
ES-303 («AMCON»)		1700	1,6
ОГШ -1101-01M	100	28000	337
В/DF 650LH («BARGAM»)	70	6000	95

Таблица Р2 – Основные технические характеристики некоторых типов центрифуг различных производителей

Технологический показатель	Обозначение центрифуг		
	ОГШ-301	ОГШ-461	ОГШ-751
Производительность:			
- по пульпе, м <sup>3</sup> /час	4 – 12	12 – 35	30 – 90
- весовая, т/час	4,5 – 12,5	12,5 – 35,5	30,5 – 90,5
- по сухому твердому веществу, т/час	1,5	5,0	18,0
Унос сухого вещества с фугатом, % сухого вещества в осадке	5 – 35		
Влажность обезвоженного продукта, %	65 – 75		

### Приложение С

Таблица С1 – Основные технические характеристики ленточных ситовых фильтр-прессов («ЭКОТОН»)

Основные характеристики	ПЛ – 12	ПЛ – 16	ПЛ – 20
Производительность, т/ч:			
- по сухому веществу, не более кг/ч	600	800	1100
- по исходному осадку, не более м <sup>3</sup> /ч	14	20	25
Ширина лент, мм	1200	1600	2000
Скорость лент, м/мин	от 2 до 9		
Мощность привода, кВт:	2,2		
Габаритные размеры, мм:			
- длина	4100	4100	4100
- ширина	2150	2550	2950
- высота	1950	1950	1950
Масса, кг, не более	4500	5000	5700

### Приложение Т

Таблица Т1 – Средняя по высоте осадочной части отстойника концентрация твердой фазы в уплотненном осадке в отстойниках станций водоподготовки

Содержание взвешенных веществ в исходной воде, мг/л	Используемые реагенты	Концентрация твердой фазы в осадке (при обработке воды коагулянтом), мг/л, при интервале между сбросами осадка, ч.		
		6	12	24
до 50	Коагулянт	9000	12000	15000
50 – 100		12000	16000	20000
100 – 400		20000	32000	40000
400 – 1000		35000	50000	60000
1000 – 1500		80000	100000	120000
свыше 1500	Флокулянт	90000	140000	160000
свыше 1500	Без реагентов	200000	250000	300000

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

**Кафедра водопостачання, водовідведення та очищення вод**

**РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА**

**з дисципліни «Процеси та обладнання з обробки осадів»**

**на тему: «Розрахунок споруд технологічної схеми обробки осадів  
стічних вод»**

Студента 5 курсу гр. \_\_\_\_\_

Спеціальності \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник: доц. К. Б. Сорокіна

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_ Оцінка: \_\_\_\_ ECTS \_\_\_\_

м. Харків – 2016 рік



## Приложение X

Таблица X1 – Исходные данные для выполнения РГР

<i>Показатели</i>	<b>ВАРИАНТЫ</b>									
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Расход бытовых сточных вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут	18	17	75	77	80	19	16	65	67	63
Норма водопотребления в населенном пункте, л/сут. чел.	250	260	270	280	290	300	290	280	270	260
Расход производственных сточных вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут	4	3	10	8	9	3	5	14	12	15
Концентрация взвешенных веществ в производственных сточных водах до отстаивания, мг/л	150	170	180	160	190	170	200	190	140	150
БПК <sub>полн</sub> производственных сточных вод, мгО <sub>2</sub> /л	190	210	220	210	190	220	230	240	250	180
Эффект осветления (задержания взвешенных веществ) в первичных отстойниках, %	40	45	50	40	45	50	40	45	50	45
Снижение БПК <sub>полн</sub> сточных вод при первичном отстаивании, %	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20
БПК <sub>полн</sub> очищенной сточной жидкости, мгО <sub>2</sub> /л	10	12	15	10	12	15	10	12	15	12
Вынос активного ила из вторичных отстойников, мг/л	11	14	15	11	14	15	11	14	15	15
Тип применяемых песколовков	гориз.	аэрир.	танг.	гориз.	аэрир.	танг.	гориз.	аэрир.	танг.	аэрир.
Ср.мес. темп-ра СВ за летн. период, °С	20	21	22	23	24	25	24	23	22	21
Температура сточных вод в аэротенке, °С	15	17	18	15	17	18	15	17	18	17
Температура активного ила в стабилизаторе, °С	14	15	16	14	15	16	14	15	16	15
Время обработки воды в аэротенках, ч.	5,1	5,4	5,7	5,1	5,4	5,7	5,1	5,4	5,7	5,4
Доза ила, г/л	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Схема обработки осадков	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 210 с.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5 – 74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
3. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод / И. С. Туровский. – Москва : Стройиздат, 1988. – 256 с.
4. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. Посібник / В. А. Ковальчук. – Рівне : Рівненська друкарня, 2003. – 622 с.
5. Ласков Ю. М. Примеры расчёта канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – Москва : Стройиздат, 1987. – 255 с.
6. Гудков А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2002. – 127 с.
7. Гудков А. Г. Механическая очистка сточных вод : учебн. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 152 с.
8. Канализация населённых мест и промышленных предприятий / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В. Н. Самохина. (Справочник проектировщика). – Москва : Стройиздат, 1981. – 639 с.
9. Гюнтер Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – Москва : Стройиздат, 1991. – 128 с.
10. Любарский В. М. Осадки природных вод и методы их обработки / В. М. Любарский. – Москва : Стройиздат, 1980. – 128 с.
11. Рекомендации для проектирования бессточных систем водопроводных очистных сооружений по характерным группам водоисточников Украинской ССР – РД 204 УССР 216-85. – Харьков, 1985. – 12 с.
12. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – Москва : МГСУ, Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до проведення практичних занять,  
виконання розрахунково-графічної роботи та самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»**

*(для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання  
освітнього рівня «магістр»  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізація (освітня програма) «Водопостачання та водовідведення»)*

(Рос. мовою)

Укладач **СОРОКІНА** Катерина Борисівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2016, поз. 142М

---

Підп. до друку 21.06.2016

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60×84 /16

Ум. друк. арк. 3,3

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О.М.Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rektorat@kname.edu.ua](mailto:rektorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.