

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**КАФЕДРА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ**  
**И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

# **Методические указания**

**к выполнению практических занятий по дисциплине**  
**«Технология очистки сточных вод»**  
**для студентов специальности**  
**1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение**  
**и охрана водных ресурсов»**

УДК 628.2.001.2 (075.8)

Методические указания подготовлены для студентов вузов специальности 1 - 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающих курс «Технология очистки сточных вод».

В методических указаниях рассматриваются вопросы проектирования и расчёта городских очистных сооружений канализации. Приводятся примеры с определением расходов сточных вод, поступающих на очистную станцию, средних концентраций загрязнений общего стока с установлением допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах и выбором метода очистки и состава сооружений. Рассмотрено несколько примеров технологических расчётов для городских очистных станций различной производительности с разными составами сооружений. Примеры сопровождаются схемами, справочными и нормативными данными.

Составители: Т. И. Акулич, старший преподаватель  
С. В. Андреюк, канд. техн. наук, доцент

Рецензенты: гл. специалист отдела комплексного проектирования № 2  
УП «Институт Брестстройпроект» С. А. Новик;  
заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ,  
канд. техн. наук, доцент В. Г. Новосельцев

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1 СОСТАВ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА</b> .....	5
<b>2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ СТОЧНЫХ ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ НА ОЧИСТНУЮ СТАНЦИЮ</b> .....	6
<b>3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОБЩЕГО СТОКА</b> .....	7
<b>4 УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ</b> .....	8
4.1 Определение коэффициента смешения и кратности разбавления .....	8
4.2 Установление допустимых концентраций по показателю БПК <sub>5</sub> , показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему .....	9
4.3 Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	10
4.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	11
<b>5 ВЫБОР МЕТОДА ОЧИСТКИ И СОСТАВА СООРУЖЕНИЙ</b> .....	11
<b>6 РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ</b> .....	14
<b>7 ПРИМЕР РАСЧЁТА №1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 129300 М<sup>3</sup>/СУТКИ</b> .....	14
7.1 Определение расчетных расходов поступающих сточных вод на очистную станцию .....	15
7.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей .....	17
7.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах .....	18
7.3.1 Определение коэффициента смешения и кратности разбавления. ....	18
7.3.2 Установление допустимых концентраций по показателю БПК <sub>5</sub> , показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему. ....	19
7.3.3 Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	20
7.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	20
7.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений. Составление технологической схемы очистки сточных вод .....	21
<b>8 ПРИМЕР РАСЧЁТА №2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 26600 М<sup>3</sup>/СУТКИ</b> .....	23
8.1 Определение расчетных расходов сточных вод поступающих на очистную станцию .....	23
8.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей .....	25
8.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах .....	26

8.3.1	Определение коэффициента смешения и кратности разбавления .....	26
8.3.2	Установление допустимых концентраций по показателю БПК <sub>5</sub> , показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему .....	27
8.3.3	Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	28
8.3.4	Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	29
8.4	Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений .....	28
	Составление технологической схемы очистки сточных вод .....	30

<b>9</b>	<b>ПРИМЕР РАСЧЁТА №3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 28100 М<sup>3</sup>/СУТКИ .....</b>	<b>31</b>
9.1	Определение расходов сточных вод поступающих на очистную станцию .....	31
9.2.	Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа населения .....	33
9.3.	Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ в очищенных сточных водах .....	34
9.3.1.	Определение коэффициента смешения и кратности разбавления .....	34
9.3.2	Установление допустимых концентраций по показателям БПК <sub>5</sub> , ХПК, взвешенным веществам, аммоний иону, азоту общему, фосфору общему .....	35
9.3.3	Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	36
9.3.4	Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	37
9.4	Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений .....	37
	Составление технологической схемы очистки сточных вод .....	39
<b>10</b>	<b>РАЗРАБОТКА ГЕНПЛАНА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ .....</b>	<b>40</b>
<b>11</b>	<b>СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ПО ХОДУ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ .....</b>	<b>41</b>
<b>12</b>	<b>КОНСТРУИРОВАНИЕ ОДНОГО ИЗ СООРУЖЕНИЙ .....</b>	<b>46</b>
	Приложение 1. Примерный процент разброса притока бытовых сточных вод на очистную станцию по часам суток .....	47
	Приложение 2. Примерный процент разброса притока промышленных сточных вод на очистную станцию по часам смен .....	48
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	49

## ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в области очистки городских сточных вод проделана большая работа: разработаны новые технологии очистки сточных вод и обработки образующихся в процессе очистки осадков, созданы новые конструкции сооружений и оборудования, предложены новые методы расчета. Однако всё это ещё не находится в стадии совершенства и поэтому необходимо продолжить совершенствование проектно-сметного дела, повысить качество проектной документации, предусмотреть широкое применение прогрессивных научно-технических отечественных достижений, внедрение зарубежного передового опыта, повысить качество подготовки специалистов.

Это обязывает будущих специалистов в области водоснабжения, водоотведения, рационального использования и охраны водных ресурсов глубже овладевать знаниями, творчески подходить к решению вопросов, связанных с их будущей работой.

Лекционные, практические, а также лабораторные занятия по дисциплине «Технология очистки сточных вод» проводятся согласно учебной программе. Формами контроля знаний студентов являются зачет и экзамен, а также разработка курсового проекта.

Выполнение курсового проекта необходимо для углубления, закрепления и обобщения знаний, полученных студентами во время теоретического обучения, а также приобретения практических навыков проектирования городских очистных станций.

## 1 СОСТАВ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется на тему «Городская очистная станция».

В состав проекта входят: пояснительная записка и чертежи. В **пояснительной записке** должны быть освещены следующие вопросы:

1. Определение расходов, поступающих на очистную станцию.
2. Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей.
3. Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.
4. Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений.
5. Составление технологической схемы очистной станции.
6. Описание и расчет сооружений, входящих в состав очистной станции (по движению воды и осадков).
7. Вспомогательные здания и сооружения очистной станции.
8. Разработка генерального плана станции очистки сточных вод.
9. Гидравлический расчет коммуникаций очистной станции.
10. Высотное проектирование: составление профиля по движению «воды».
11. Конструирование одного из сооружений очистной станции (по указанию руководителя).

Пояснительная записка должна также включать реферат, введение, список используемой литературы.

Пояснительная записка оформляется в соответствии со стандартом университета.

Объём пояснительной записки в среднем составляет 60 страниц.

В начале записки прикладывается задание на разработку проекта, выданное руководителем.

**Графическая часть** проекта составляет 2–3 листа чертежей формата А1:

1. Генплан очистной станции, выполненный в масштабе 1:500 или 1:1000, с указанием всех основных и вспомогательных зданий, сооружений, коммуникаций, дорог, насыпей и выемок. При этом иловые площадки и биопруды могут быть размещены на данном генплане только частично. Но они обязательно должны быть показаны полностью на ситуационном плане, который вычерчивается с нанесением части жилой застройки, ГКС и водоёма в масштабе 1:5000, 1:10000 или 1:25000.

2. Чертёж одного из сооружений очистной станции (по указанию руководителя), выполненный в масштабе 1:50 или 1:100.

3. Профиль по ходу движения воды, выполненный в масштабах горизонтальном 1:500 или 1:1000 и вертикальном 1:100. По желанию студента профиль может быть выполнен отдельным чертежом, представленным в соответствующем разделе пояснительной записке.

Графическая часть оформляется в соответствии с ГОСТ 21.604-82.

Чертежи и пояснительная записка должны быть подписаны студентом.

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ СТОЧНЫХ ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ НА ОЧИСТНУЮ СТАНЦИЮ

Сооружения очистной станции должны быть рассчитаны на суммарный приток бытовых и производственных сточных вод. Производительность станции выражает собой суммарный средний суточный расход бытовых и промышленных сточных вод:

$$Q_{\text{ср.сут.}} = Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт.}} + Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{пр.}}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт.}}$ ,  $Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{пр.}}$  – средние суточные расходы соответственно бытовых и промышленных сточных вод.

Расход бытовых сточных вод определяется по формуле

$$Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт.}} = \frac{q_n \cdot N}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (2.2)$$

где  $q_n$  – норма водоотведения, л/(сут·чел);  
 $N$  – расчетное число жителей.

Расходы производственных сточных вод вычисляют по формуле

$$Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{пр.}} = q_n' \cdot N', \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (2.3)$$

где  $q_n'$  – норма водоотведения на единицу продукции, м<sup>3</sup>;  
 $N'$  – число единиц продукции, выпускаемых за сутки.

Как правило, сточные воды подаются на очистные сооружения с помощью насосной станции. Расчет большинства сооружений производят на максимальный и проверяется на минимальный расходы, подаваемые насосами. Следовательно, расчету очистных сооружений должен предшествовать расчет

насосной станции с целью определения графика подачи стоков по часам суток. В данном проекте допускается упрощение: принимаем подачу сточных вод насосной станцией как приток сточных вод.

При определении притока бытовых сточных вод на городскую очистную станцию по часам суток пользуются процентом разброса из [2], который приводится в приложении 1.

При определении притока на очистную станцию промышленных сточных вод процесс разброса по часам смены приводится в приложении 2.

Затем определяется суммарный приток на очистную станцию всех сточных вод по часам суток в табличной форме (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Расчет подачи сточных вод на городскую очистную станцию

часы суток	приток сточных вод от населения		приток сточных вод от п/п		суммарный приток сточных вод, м <sup>3</sup> /ч
	%	м <sup>3</sup> /ч	%	м <sup>3</sup> /ч	
1	2	3	4	5	6
0–1					
1–2					
			.....		
22–23					
23–24					
Итого					

В данном разделе должны быть определены следующие характерные расходы сточных вод: средние – суточный, часовой, секунднй; максимальные – часовой, секунднй; минимальные – часовой и секунднй.

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОБЩЕГО СТОКА

Определение необходимой степени очистки сточных вод и расчет канализационных очистных сооружений следует производить по основным показателям загрязнений:

- взвешенным веществам;
- суммарному содержанию в воде органических загрязняющих веществ, оцениваемому по БПК<sub>5</sub>;
- биогенным элементам (азоту и фосфору).

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формуле

$$C_{\text{общ}} = \frac{C_{\text{быт}} \cdot Q_{\text{быт}} + \sum C_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{быт}} + \sum Q_{\text{пр}}}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.1)$$

где  $C_{\text{быт}}$  – концентрация загрязняющих веществ в бытовых стоках, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{пр}}$  – концентрации загрязняющих веществ в стоках промышленных предприятий, мг/дм<sup>3</sup>;

$Q_{\text{быт}}$ ,  $Q_{\text{пр}}$  – расходы сточных вод соответственно бытовых и промышленных предприятий, м<sup>3</sup>/сут.

Концентрацию загрязняющих веществ в бытовых стоках определяют по формуле

$$C_{\text{быт}} = \frac{a \cdot 1000}{q_n}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.2)$$

где  $a$  – количество загрязняющих веществ, вносимых одним человеком в сточные воды, г/(чел. · сут), определяемое по таблице 10.1 [8];

$q_n$  – норма водоотведения на одного человека, л/сут · чел.

Концентрации загрязняющих веществ производственных сточных вод, как правило, даются в задании на проектирование или определяются по ссылкам на опытные данные промышленных предприятий.

Концентрации загрязняющих веществ вычисляют по взвешенным веществам, БПК<sub>5</sub>, ХПК, биогенным элементам (азоту и фосфору) и характерным для данного города ингредиентам.

Для вычисления некоторых показателей, например, количества песка, задерживаемого в песколовках, подсчитывают приведенное число жителей

$$N_{\text{привед}} = N + N_{\text{экв}}, \quad (3.3)$$

где  $N$  – расчетное население города;

$N_{\text{экв}}$  – эквивалентное число жителей, определяемое по формуле

$$N_{\text{экв}} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}}}{a}, \text{ жит.} \quad (3.4)$$

Приведенное число жителей определяют отдельно по взвешенным веществам и по БПК<sub>5</sub>.

## 4 УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ

### 4.1 Определение коэффициента смешения и кратности разбавления

Коэффициент смешения определяют по формуле

$$K_{\text{см}} = \frac{1 - e^{-K_{г.у} \cdot \sqrt[3]{l}}}{1 + \left(\frac{Q}{q}\right) \cdot e^{-K_{г.у} \cdot \sqrt[3]{l}}}, \quad (4.1)$$

где  $Q$  – расход воды (при 95 % обеспеченности) в водотоке у места выпуска сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$l$  – длина русла от места выпуска сточных вод до расчетного створа по фарватеру водотока, м;

$K_{г.у}$  – коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, определяется по формуле

$$K_{г.у} = K_{\text{вып}} \cdot K_{\text{изв}} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (4.2)$$

где  $K_{\text{вып}}$  – коэффициент, учитывающий место расположения выпуска, при береговом выпуске – 1, при русловом – 1,5;

$K_{\text{изв}}$  – коэффициент извилистости русла, определяется по формуле

$$K_{\text{изв}} = \frac{l_{\text{ф}}}{l_{\text{пр}}}, \quad (4.3)$$

$D$  – коэффициент турбулентной диффузии, определяется по формуле

$$D = \frac{v_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{200}, \quad (4.4)$$

где  $v_{\text{ср}}$  – средняя скорость течения воды в створе выпуска сточных вод, м/с;

$H_{\text{ср}}$  – средняя глубина реки, м.

Для определения кратности разбавления в расчетных створах следует применять формулу

$$n = \frac{K_{\text{см}} \cdot Q + q}{q}. \quad (4.5)$$

#### **4.2 Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему**

Допустимые концентрации загрязняющих веществ по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему устанавливаются по приложению 1 [6], в зависимости от массы органических веществ, содержащихся в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, выраженной по эквивалентному населению (ЭН) или по БПК<sub>5</sub>, ( $M_{\text{БПК}_5}$ , кг/сут).

Эквивалент населения, ЭН, чел, следует определять по формуле

$$\text{ЭН} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a}, \text{ чел}, \quad (4.6)$$

где  $Q_{\text{ср.сут}}$  – среднесуточный суммарный расход производственных и бытовых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}$  – концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, оцениваемых по БПК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>, определяемая по п. 3;

$a$  – количество загрязняющих веществ, оцениваемых по БПК<sub>5</sub>, вносимых одним человеком в сточные воды, г/(чел·сут), определяемое по таблице 10.1 [8].

Масса органических веществ в составе сточных вод,  $M_{\text{БПК}_5}$ , кг/сут, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{1000}, \text{ кг / сут}, \quad (4.7)$$

где  $C_{\text{БПК}_5}^{\text{общ}}$  – концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, оцениваемая по БПК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>, определяемая по п. 3;

$Q_{\text{ср. сут}}$  – среднесуточный суммарный расход производственных и бытовых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Допустимая концентрация загрязняющих веществ в очищенных сточных водах не должна превышать показателей, приведенных в таблице 4.1 (приложение 1 [6]).

Таблица 4.1 – Допустимые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах в зависимости от массы органических веществ в составе сточных вод

Эквивалент населения (масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, ЭН (M <sub>БПК5</sub> ))	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Аммоний-ион, мгN/дм <sup>3</sup>	Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>
До 500 (до 30 кг/сут)	125	25	30	25	н/н	н/н
501–2000 (от 30 до 120 кг/сут)	120	25	25	20	н/н	н/н
2001–10000 (от 120 до 600 кг/сут)	100	20	25	15	25	4,5
10001–100000 (от 600 до 6000 кг/сут)	80	20	20	15	20	3,0
Более 100001 (более 6000 кг/сут)	70	15	20	10	20	2,0

Примечание – н/н – показатель не нормируется

Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам может быть определена по формуле

$$\Xi = \frac{C_{\text{общ}} - C_{\text{дк}}}{C_{\text{общ}}} \cdot 100, \% \quad (4.8)$$

где  $C_{\text{общ}}$  – концентрация загрязняющего вещества в сточной воде до очистки, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{дк}}$  – допустимая концентрация загрязняющего вещества в очищенных сточных водах, мг/дм<sup>3</sup>.

#### 4.3 Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта

Нормативы допустимых сбросов по другим показателям загрязняющих веществ, не указанных в таблице 4.1, устанавливаются по следующей методике.

Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах без учета неконсервативности вещества (претерпевающего изменения в воде за счет химических и гидробиологических процессов),  $C_{\text{дк}}$  (мг/дм<sup>3</sup>), рассчитывается по формуле

$$C_{\text{дж}} = [(n-1)(C_{\text{пдж}} - C_{\text{ф}})] + C_{\text{пдж}}, \quad (4.9)$$

где  $n$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая по п. 4.1.

$C_{\text{пдж}}$  – норматив предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде водотока, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм<sup>3</sup>.

Норматив предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде водотока принимается в зависимости от категории водотока - рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого или культурно-бытового водопользования. Как правило, сброс сточных вод осуществляется в рыбохозяйственные водные объекты. Качество воды рыбохозяйственных водных объектов в контрольных створах должно соответствовать [5].

Степень необходимой очистки по загрязняющему веществу определяется по формуле (4.8).

#### **4.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток**

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле

$$T_{\text{ов}} = n \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{ф}}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (4.10)$$

где  $T_{\text{ов}}$  – максимально допустимая температура отводимых сточных вод в водоток,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{ф}}$  – максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{доп}}$  – допустимое превышение температуры воды водотока,  $^\circ\text{C}$  (для рыбохозяйственных водных объектов принимается по [5]).

### **5 ВЫБОР МЕТОДА ОЧИСТКИ И СОСТАВА СООРУЖЕНИЙ**

Выбор методов очистки городских сточных вод производится на основании вычисленной степени очистки, с учётом состава поступающей на очистную станцию сточной воды и с учетом данных таблицы 5.1.

Состав сооружений следует выбирать с учетом производительности станции, характера грунтов, положения уровня грунтовых вод, климатических условий района, рельефа территории площадки, наличия земельных площадей, метода использования осадка и других местных условий. Примерный рекомендуемый состав сооружений, используемых для городских очистных станций, приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.1 – Эффективность различных методов очистки

Метод очистки сточных вод	Эффект удаления примесей, % Остаточная концентрация примесей, мг/л					
	Взвешенные вещества	БПК <sub>5</sub>	ХПК	NH <sub>4</sub>	N <sub>общ</sub>	P <sub>общ</sub>
Механическая очистка	<u>45 % – 64%</u> —	<u>20 % – 33 %</u> —	<u>20 % – 33 %</u> —	<u>9 %</u> —	<u>11 %</u> —	<u>11 %</u> —
Биологическая очистка без нитрификации при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	<u>—</u> <u>20</u>	<u>—</u> <u>15</u>	<u>—</u> <u>70</u>	<u>40 %</u> —	<u>27 %</u> —	<u>33 %</u> —
Биологическая очистка с нитрификацией при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	<u>—</u> <u>20</u>	<u>—</u> <u>15</u>	<u>—</u> <u>70</u>	<u>—</u> <u>5</u>	<u>27 %</u> —	<u>33 %</u> —
Биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 %	<u>—</u> <u>20</u>	<u>—</u> <u>15</u>	<u>—</u> <u>70</u>	<u>—</u> <u>5</u>	<u>70 %</u> —	<u>33 % – 35 %</u> —
Биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 % и биологическим удалением фосфора	<u>—</u> <u>20</u>	<u>—</u> <u>15</u>	<u>—</u> <u>70</u>	<u>—</u> <u>5</u>	<u>70 %</u> —	<u>75 % – 78 %</u> —
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой в биологических прудах менее 2 сут	<u>—</u> <u>12</u>	<u>—</u> <u>15</u>	<u>—</u> <u>70</u>	<u>—</u> <u>5</u>	<u>27 % – 70 %</u> —	<u>33 % – 78 %</u> —
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой на микрофильтрах	<u>—</u> <u>10</u>	<u>—</u> <u>12</u>	<u>—</u> <u>65</u>	<u>—</u> <u>5</u>	<u>27 % – 70 %</u> —	<u>33 % – 78 %</u> —
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с симультанным реагентным осаждением	<u>—</u> <u>18</u>	<u>—</u> <u>12</u>	<u>—</u> <u>67</u>	<u>—</u> <u>5</u>	<u>27 % – 70 %</u> —	<u>—</u> <u>1-2</u>

Таблица 5.2 – Рекомендуемые типы очистных сооружений

Наименование сооружений	Производительность очистной станции, м <sup>3</sup> /сут					
	до 300	до 5000	до 10000	до 30000	до 50000	свыше 50000
1	2	3	4	5	6	7
<b>Для механической очистки и обработки осадка</b>						
Решетки	+	+	+	+	+	+
Песколовки:						
тангенциальные	+	+	+	+	+	–
горизонтальные	–	+	+	+	+	+
с круговым движением	–	+	+	+	+	–
азрируемые	–	–	–	+	+	+
Отстойники:						
двухъярусные	+	+	+	–	–	–
вертикальные	+	+	+	–	–	–
горизонтальные	–	–	–	+	+	+
радиальные	–	–	–	+	+	+
Песковые площадки или песковые бункера	+	+	+	+	+	+
Метантанки	–	–	+	+	+	+
Иловые площадки	+	+	+	+	+	+
Аэробные стабилизаторы	+	+	+	+	+	–
Вакуум-фильтры	–	–	–	+	+	+
Центрифуги	–	–	+	+	+	+
Термическая сушка	–	–	+	+	+	+
Хлораторные установки	+	+	+	+	+	+
<b>Для биологической очистки</b>						
Поля фильтрации или поля орошения	+	+	+	–	–	–
Биологические пруды	+	+	+	–	–	–
Капельные или дисковые биофильтры	+	+	+	–	–	–
Высоконагружаемые биофильтры	–	–	+	+	+	–
Аэротенки	+	+	+	+	+	+
Илоуплотнители	+	+	+	+	+	+

Примечание: 1. + рекомендуется, – не рекомендуется.

2. Совместно с биофильтрами и аэротенками проектируются вторичные отстойники.

3. Для доочистки биологически очищенных стоков применяются азрируемые биопруды; многослойные, песчаные фильтры и другие сооружения [8].

Выбирая состав сооружений, следует принимать во внимание также условия подачи сточных вод на очистную станцию. При перекачке сточных вод необходимо устраивать перед ними приёмную камеру. В состав очистной станции обязательно должны входить:

- водоизмерительное устройство;
- устройства для равномерного распределения сточных вод между отдельными сооружениями и секциями (распределительные чаши, каналы);
- устройства для выключения из работы, опорожнения и промывки;

– устройства для аварийного сброса сточных вод до и после сооружений механической очистки, перед насосными станциями (блока доочистки на фильтрах, подачи сточных вод на биофильтры и др.).

Кроме основных производственных сооружений на территории очистной станции располагаются вспомогательные здания и сооружения: воздухоудалительная илоциркуляционная, иловая и другие насосные станции; трансформаторная подстанция, лаборатория, здание АБК, мастерские, гаражи, склады, проходная и др.

## **6 РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ**

Расчеты очистных сооружений следует проводить в соответствии с рекомендациями СН [8]. Если допускаются отклонения от СН, требуется аргументированное обоснование этого со ссылками на соответствующую литературу. Рекомендуемая литература, которую следует использовать при расчётах сооружений, – это [1–3].

Ниже приводятся три примера расчётов городских очистных станций с определением расходов сточных вод, поступающих на очистную станцию, средних концентраций загрязнений общего стока с установлением допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах и выбором метода очистки и состава сооружений.

Пример расчёта № 1 – для городской станции большой производительности с использованием для биологической очистки сооружений аэротенков.

Пример расчёта № 2 – для станции средней производительности с использованием для биологической очистки сооружений биофильтров.

Пример расчёта № 3 – для станции средней производительности, на которой реализуется совместное удаление органических загрязнений и биогенных элементов (азота и фосфора) биологическим методом.

В рассматриваемых примерах используются разные сооружения не только биологической очистки, но также разные конструкции сооружений механической очистки и разные технологические схемы обработки осадков. Расчет принятых сооружений приведен в литературе [1].

При проектировании сооружений очистной станции следует стремиться к использованию типовых сооружений, так как это приводит к снижению стоимости очистки сточных вод, упрощает строительство и эксплуатацию.

В тех случаях, когда применение таких сооружений ведёт к большому завышению расчётного объёма, используют сооружения нестандартных размеров. В последнее время зачастую используется зарубежное оборудование, имеющее определённые достоинства и повышающее надёжность работы очистной станции. В конечном итоге выбор типа сооружений и оборудования определяется технико-экономическим сравнением вариантов.

## **7 ПРИМЕР РАСЧЁТА № 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 129300 М<sup>3</sup>/СУТКИ**

### **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ:**

Местонахождение объекта канализования – Гродненская область

Количество жителей в городе – N = 400 тыс. чел

Норма водоотведения –  $q_n = 270$  л/(сут.чел)

Температура городских сточных вод –  $t_{св} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Концентрация нефтепродуктов городских сточных вод –  $0,18 \text{ мг/дм}^3$

Концентрация СПАВ (анион) городских сточных вод –  $0,35 \text{ мг/дм}^3$

Данные по промышленному предприятию:

Количество производственных сточных вод –  $Q_{\text{ПР}} = 21300 \text{ м}^3/\text{сут}$

Режим работы предприятия (количество смен) – 3

Коэффициент неравномерности – 1,8

*Качественный состав производственных сточных вод:*

БПК<sub>5</sub> =  $441,7 \text{ мг/дм}^3$

ХПК =  $550 \text{ мг/дм}^3$

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{\text{взв}} = 200 \text{ мг/дм}^3$

Азот аммонийных солей  $N_{\text{амм}} = 20 \text{ мг/дм}^3$

Азот общий  $N_{\text{общ}} = 24 \text{ мг/дм}^3$

Фосфор общий  $P_{\text{общ}} = 3 \text{ мг/дм}^3$

Среднемесячная температура сточных вод –  $t_{\text{п}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Данные по водотоку:

Наименьший среднемесячный расход воды водотока года 95 % обеспеченности в створе у места выпуска сточных вод –  $Q = 13,5 \text{ м}^3/\text{с}$

Средняя глубина –  $H_{\text{СР}} = 2,6 \text{ м}$

Средняя скорость течения –  $V_{\text{СР}} = 0,55 \text{ м/с}$

длина реки по фарватеру –  $L_{\text{Ф}} = 0,5 \text{ км}$

длина реки по прямой –  $L_{\text{ПР}} = 0,5 \text{ км}$

тип водотока – река рыбохозяйственная 2 категории

*Качественный состав воды водотока:*

температура воды –  $t_{\text{р}} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$

растворенный кислород –  $O_2 = 6,4 \text{ мг/дм}^3$

БПК<sub>5</sub> =  $2,8 \text{ мг/дм}^3$

ХПК =  $4 \text{ мг/дм}^3$

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{\text{взв}} = 10 \text{ мг/дм}^3$

Азот аммонийных солей  $N_{\text{амм}} = 0,18 \text{ мг/дм}^3$

Азот общий  $N_{\text{общ}} = 2,4 \text{ мг/дм}^3$

Фосфор общий  $P_{\text{общ}} = 0,09 \text{ мг/дм}^3$

Концентрация нефтепродуктов –  $0,01 \text{ мг/дм}^3$

Концентрация СПАВ (анион) –  $0,08 \text{ мг/дм}^3$

## 7.1 Определение расчетных расходов поступающих сточных вод на очистную станцию

Определяем расходы по формулам раздела 2:

$$Q_{\text{ср.сут}}^{\text{быт}} = \frac{270 \cdot 400000}{1000} = 108000 \text{ м}^3 / \text{сут},$$

$$q_{\text{ср.сек}}^{\text{быт}} = \frac{108000}{24 \cdot 3,6} = 1250 \text{ л / с}.$$

Производительность городской очистной станции:

$$Q_{\text{ср.сут}} = 108000 + 21300 = 129300 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Средний часовой расход:

$$Q_{\text{ср.час}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24} = \frac{129300}{24} = 5387,5 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.сек}} = \frac{Q_{\text{ср.час}}}{3,6} = \frac{5387,5}{3,6} = 1496 \text{ л/с}.$$

Расчет подачи стоков по часам суток произведен в табличной форме (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Расчет подачи стоков на городскую очистную станцию

часы суток	приток сточных вод от населения		приток сточных вод от п/п		суммарный приток сточных вод, м <sup>3</sup> /ч
	%	м <sup>3</sup> /ч	%	м <sup>3</sup> /ч	
1	2	3	4	5	6
0–1	2,6	2808,00	8,5	603,5	3411,5
1–2	2,6	2808,00	9,5	674,5	3482,5
2–3	2,6	2808,00	9,5	674,5	3482,5
3–4	2,6	2808,00	22,5	1597,5	4405,5
4–5	2,6	2808,00	8,5	603,5	3411,5
5–6	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
6–7	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
7–8	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
8–9	4,8	5184,00	8,5	603,5	5787,5
9–10	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
10–11	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
11–12	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
12–13	4,7	5076,00	8,5	603,5	5679,5
13–14	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
14–15	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
15–16	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
16–17	4,8	5184,00	8,5	603,5	5787,5
17–18	4,7	5076,00	9,5	674,5	5750,5
18–19	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
19–20	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
20–21	4,8	5184,00	8,5	603,5	5787,5
21–22	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
22–23	3	3240,00	9,5	674,5	3914,5
23–24	2,6	2808,00	22,5	1597,5	4405,5
Σ=	100	108000	300	21300	129300

Из таблицы 7.1 видно, что наибольший расход сточных вод с 7–8, 11–12, 15–16, 19–20 часов, минимальный с 0–1 часа, расходы сточных вод в это время составляют:

$$Q_{\text{час}}^{\text{max}} = 6781,5 \text{ м}^3 / \text{ч}; Q_{\text{час}}^{\text{min}} = 3411,5 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 1,884 \text{ м}^3 / \text{с}; q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 0,948 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 1884 \text{ л / с}; q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 948 \text{ л / с}.$$

## 7.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формулам раздела 3.

Концентрация загрязнений бытовых стоков по взвешенным веществам:

$$C_{\text{быт}}^{\text{взв}} = \frac{65 \cdot 1000}{270} = 240,74 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{быт}}^{\text{БПК}_5} = \frac{60 \cdot 1000}{270} = 222,22 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по ХПК:

$$C_{\text{быт}}^{\text{ХПК}} = \frac{120 \cdot 1000}{270} = 444,44 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту аммонийному:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{амм}}} = \frac{10 \cdot 1000}{270} = 37,04 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{общ}}} = \frac{12 \cdot 1000}{270} = 44,44 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по фосфору общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{P}_{\text{общ}}} = \frac{2 \cdot 1000}{270} = 7,4 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по взвешенным веществам:

$$C_{\text{общ}}^{\text{взв}} = \frac{240,74 \cdot 108000 + 200 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 234,04 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} = \frac{222,22 \cdot 108000 + 441,7 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 258,38 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по ХПК:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{ХПК}} = \frac{444,44 \cdot 108000 + 550 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 461,83 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту аммонийному:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{амм}}} = \frac{37,04 \cdot 108000 + 20 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 34,23 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{общ}}} = \frac{44,44 \cdot 108000 + 24 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 41,07 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по фосфору общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{P}} = \frac{7,4 \cdot 108000 + 3 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 6,68 \text{ мг / дм}^3.$$

Эквивалентное число жителей:

$$N_{\text{эв}}^{\text{ЖЗВ}} = \frac{200 \cdot 21300}{65} = 65539 \text{ чел.};$$

$$N_{\text{эв}}^{\text{БПК}_5} = \frac{441,7 \cdot 21300}{60} = 156804 \text{ чел.}$$

Приведенное число жителей:

$$N_{\text{прив}}^{\text{ЖЗВ}} = 400000 + 65539 = 465539 \text{ чел.};$$

$$N_{\text{прив}}^{\text{БПК}_5} = 400000 + 156804 = 5556804 \text{ чел.}$$

### 7.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах

#### 7.3.1 Определение коэффициента смешения и кратности разбавления

Коэффициент смешения определяется по формуле (4.1)

$$K_{\text{см}} = \frac{1 - e^{-0,168 \cdot \sqrt[3]{500}}}{1 + \frac{13,5}{1,496} \cdot e^{-0,168 \cdot \sqrt[3]{500}}} = 0,22.$$

Коэффициент извилистости реки по формуле (4.3):

$$\varphi = \frac{0,5}{0,5} = 1$$

Коэффициент турбулентной диффузии по формуле (4.4)

$$D = \frac{0,55 \cdot 2,6}{200} = 0,00715.$$

Коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, по формуле (4.2)

$$K_{r,y} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00715}{1,496}} = 0,168.$$

Кратность разбавления перед расчетным пунктом водопользования по формуле (4.5)

$$n = \frac{0,22 \cdot 13,5 + 1,496}{1,496} = 2,99.$$

### 7.3.2 Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему.

Эквивалент населения определяется по формуле (4.6)

$$\text{ЭН} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a} = \frac{129300 \cdot 258,38}{60} = 556809 \text{ чел.}$$

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле (4.7)

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{1000} = \frac{258,38 \cdot 129300}{1000} = 33409 \text{ кг / сут.}$$

Допустимую концентрацию загрязняющих веществ в очищенных сточных водах устанавливаем по таблице 4.1. Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам определяется по формуле (4.8)

$$C_{\text{ДК}}^{\text{взв}} = 20 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{взв}} = \frac{234,04 - 20}{234,04} \cdot 100 = 91,5 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{БПК}_5} = 15 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{БПК}_5} = \frac{258,38 - 15}{258,38} \cdot 100 = 94,2 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ХПК}} = 70 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{ХПК}} = \frac{461,83 - 70}{461,83} \cdot 100 = 84,8 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{амм}}} = 10 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{N}_{\text{амм}}} = \frac{34,23 - 10}{34,23} \cdot 100 = 70,8 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{общ}}} = 20 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{N}_{\text{общ}}} = \frac{41,07 - 20}{41,07} \cdot 100 = 51,3 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{P}_{\text{общ}}} = 2 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{P}_{\text{общ}}} = \frac{6,68 - 2}{6,68} \cdot 100 = 70,1 \%$$

### 7.3.3 Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта

Допустимая концентрация *нефтепродуктов* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9)

$$C_{\text{дк}}^{\text{нефт}} = [(2,99 - 1)(0,05 - 0,01)] + 0,05 = 0,13 \text{ мг / дм}^3,$$

где  $n = 2,99$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п. 7.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,05$  мг/дм – норматив предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{ф}} = 0,01$  мг/дм – фоновая концентрация нефтепродуктов в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *нефтепродуктам* определяется по формуле (4.8)

$$\Xi^{\text{нефт}} = \frac{0,18 - 0,13}{0,18} \cdot 100 = 27,8 \%$$

Достигаемая эффективность удаления нефтепродуктов на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 70 % [8].

Допустимая концентрация *СПАВ (анион)* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9)

$$C_{\text{дк}}^{\text{СПАВ(анион)}} = [(2,99 - 1)(0,1 - 0,08)] + 0,1 = 0,14 \text{ мг / дм}^3,$$

где  $n = 2,99$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п. 7.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,1$  мг/дм – норматив предельно допустимой концентрации СПАВ (анион) в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{ф}} = 0,08$  мг/дм – фоновая концентрация СПАВ (анион) в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *СПАВ (анион)* определяется по формуле (4.8)

$$\Xi^{\text{СПАВ(анион)}} = \frac{0,35 - 0,14}{0,35} \cdot 100 = 60 \%$$

Достигаемая эффективность удаления СПАВ (анион) на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 65 % [8].

### 7.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле (4.10)

$$T_{\text{ов}} = 2,99 \cdot 3 + 13 = 22 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $T_{\text{ф}} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время, принимается согласно заданию на проектирование;

$T_{\text{доп}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – допустимое превышение температуры воды водотока, принимается по [5].

#### 7.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений. Составление технологической схемы очистки сточных вод

Для выбора метода очистки сточных вод в таблице 7.2. приведена качественная характеристика сточных вод до и после очистки, а также необходимая степень очистки сточных вод.

Таблица 7.2 – Качественная характеристика сточных вод

Наименование показателя	Значение показателя		Степень очистки, %
	до очистки	после очистки	
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	234,04	20	91,5
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	258,38	15	94,2
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	461,83	70	84,8
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	34,23	10	70,8
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	41,07	20	51,3
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	6,68	2	70,1
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,18	0,13	27,8
СПАВ (анион), мг/дм <sup>3</sup>	0,35	0,14	60

На основании анализа характеристики состава стоков (таблица 7.2), а также с учетом рекомендаций таблицы 5.1, назначаем биологическую очистку при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг-сут с доочисткой в биологических прудах менее 2 суток. Исходя из того, что на сооружения биологической очистки должны поступать сточные воды с содержанием взвешенных веществ не более 150 мг/дм<sup>3</sup>, назначаем механическую очистку. Учитывая среднесуточный расход сточных вод, для биологической очистки принимаем аэротенки, для механической – решетки, горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды и отстойники. Для дезинфекции сточных вод назначаем хлорирование. Для смешения сточной воды с хлором предусматриваем смеситель, а для окисления загрязнений хлором – контактные резервуары. Так как требуется снижение концентрации биогенных элементов (азота и фосфора), то для этого предусмотрим доочистку в биологических прудах. Удаление специфических загрязнений (нефтепродуктов и СПАВ (анион)) будет осуществляется биологическим методом в аэротенках.

Для удаления осадков, образующихся на очистной станции, принимаем следующую схему. Отбросы, задерживаемые на решетках, удаляются на свалку. Песок из песколовки поступает в песковые бункера, откуда периодически вывозится и используется в строительных целях. Избыточный активный ил после вторичных отстойников уплотняется и проходит обработку в метантенках совместно с осадком из первичных отстойников, из которых сброженная смесь поступает на механическое обезвоживание. Механически обезвоженный осадок подвергается термосушке с последующей утилизацией.

Принципиальная схема очистной станции представлена на рисунке 7.1.

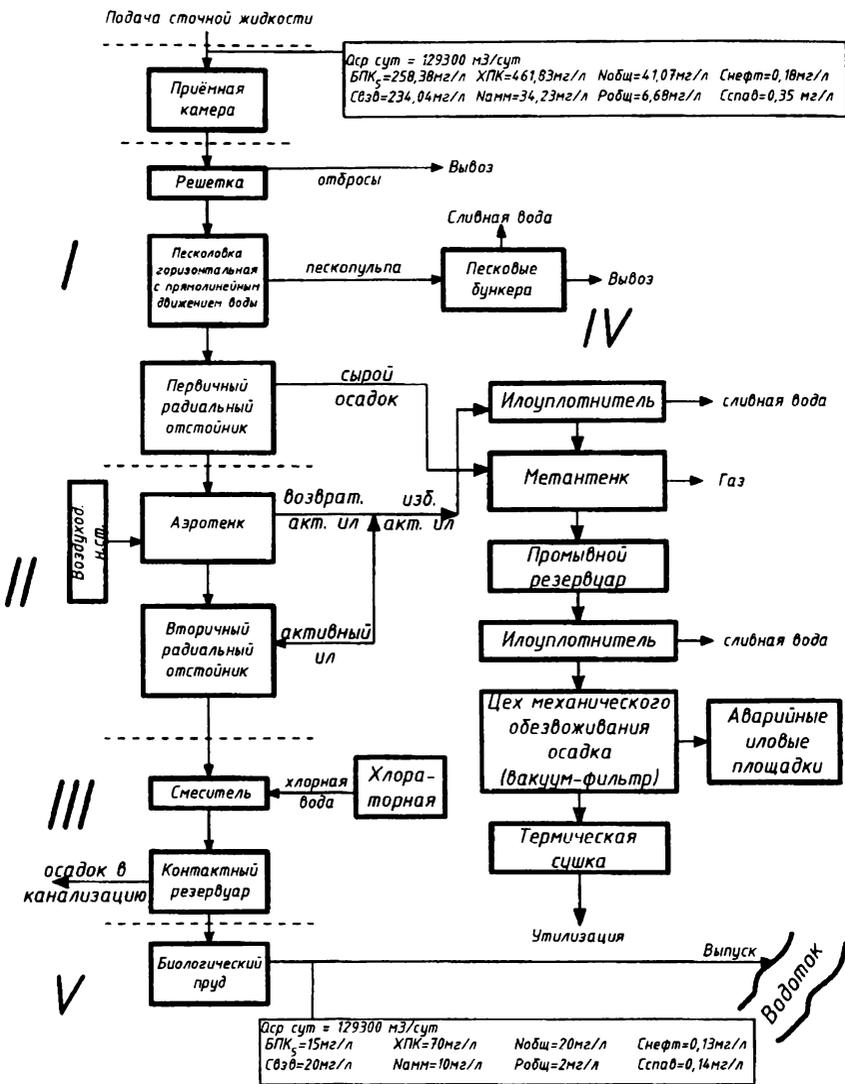


Рис. 7.1.- Принципиальная схема очистных сооружений:

- I - сооружения механической очистки сточных вод
- II - сооружения биологической очистки сточных вод
- III - сооружения для дезинфекции сточных вод
- IV - сооружения по обработке осадка сточных вод
- V - сооружения доочистки сточных вод

## 8 ПРИМЕР РАСЧЁТА № 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 26600 МЗ/СУТКИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ:

Местонахождение объекта канализования – Гродненская область

Количество жителей в городе –  $N = 120$  тыс. чел

Норма водоотведения –  $q_n = 150$  л/(сут.чел)

Температура городских сточных вод –  $t_{св} = 16$  °С

Концентрация нефтепродуктов городских сточных вод –  $0,3$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) городских сточных вод –  $0,35$  мг/дм<sup>3</sup>

Данные по промышленному предприятию:

Количество производственных сточных вод –  $Q_{пр} = 8600$  м<sup>3</sup>/сут

Режим работы предприятия (количество смен) – 2

Козффициент неравномерности – 1,5

*Качественный состав производственных сточных вод:*

БПК<sub>5</sub> =  $140$  мг/дм<sup>3</sup>

ХПК =  $200$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{взв.} = 70$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей  $N_{амм.} = 10$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий  $N_{общ.} = 12$  мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий  $P_{общ.} = 3$  мг/дм<sup>3</sup>

Среднемесечная температура сточных вод –  $t_n = 16$  °С

Данные по водотоку:

Наименьший среднемесечный расход воды водотока года 95 % обеспеченности в створе у места выпуска сточных вод –  $Q = 10,9$  м<sup>3</sup>/с

Средняя глубина –  $H_{ср} = 2,6$  м

Средняя скорость течения –  $V_{ср} = 0,465$  м/с

длина реки по фарватеру –  $L_{ф} = 0,5$  км

длина реки по прямой –  $L_{пр} = 0,5$  км

тип водотока – река рыбохозяйственная 2 категории

*Качественный состав воды водотока:*

температура воды –  $t_p = 15$  °С

растворенный кислород –  $O_2 = 6,38$  мг/дм<sup>3</sup>

БПК<sub>5</sub> =  $2,6$  мг/дм<sup>3</sup>

ХПК =  $4$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{взв.} = 18,3$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей  $N_{амм.} = 0,18$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий  $N_{общ.} = 2,4$  мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий  $P_{общ.} = 0,09$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация нефтепродуктов –  $0,01$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) –  $0,08$  мг/дм<sup>3</sup>

### 8.1 Определение расчетных расходов сточных вод, поступающих на очистную станцию

Определяем расходы по формулам раздела 2:

$$Q_{ср.сут}^{быт} = \frac{150 \cdot 120000}{1000} = 18000 \text{ м}^3 / \text{сут};$$

$$q_{ср.сек}^{быт} = \frac{18000}{24 \cdot 3,6} = 208,3 \text{ л / с.}$$

Производительность городской очистной станции:

$$Q_{\text{ср.сут}} = 18000 + 8600 = 26600 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Средний часовой расход:

$$Q_{\text{ср.час}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24} = \frac{26600}{24} = 1108,33 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.сек}} = \frac{Q_{\text{ср.час}}}{3,6} = \frac{1108,33}{3,6} = 307,87 \text{ л / с}.$$

Как правило, сточные воды подаются на очистные сооружения с помощью насосной станции. Расчёт большинства сооружений производят на пропуск максимального расхода и проверяют отдельные сооружения на пропуск минимального расхода. Расчёт степени очистки производят на средний расход сточных вод.

Расчет графика подачи стоков по часам суток произведен в табличной форме (таблица 8.1). Из таблицы 8.1 видно, что наибольший расход сточных вод с 15–16 часов, минимальный с 0 до 5 часов, расходы сточных вод в это время составляют:

$$Q_{\text{час}}^{\text{max}} = 1848,1 \text{ м}^3 / \text{ч}; Q_{\text{час}}^{\text{min}} = 297 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 0,513 \text{ м}^3 / \text{с}; q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 0,0825 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 513 \text{ л / с}; q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 82,5 \text{ л / с}.$$

Таблица 8.1 – График притока сточных вод по часам суток на очистные сооружения

Часы суток	Приток сточных вод от населения		Приток сточных вод от п/п		Суммарные расходы сточных вод, м <sup>3</sup> /час
	%	м <sup>3</sup> /ч	%	м <sup>3</sup> /ч	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
0-1	1,65	297	–	–	297
1-2	1,65	297	–	–	297
2-3	1,65	297	–	–	297
3-4	1,65	297	–	–	297
4-5	1,65	297	–	–	297
5-6	4,2	756	–	–	756
6-7	5,8	1044	–	–	1044
7-8	5,8	1044	–	–	1044
8-9	5,85	1053	10,3	442,9	1495,9
9-10	5,85	1053	10,5	451,5	1504,5
10-11	5,85	1053	10,5	451,5	1504,5
11-12	5,05	909	18,7	804,1	1713,1
12-13	4,2	756	10,3	442,9	1198,9
13-14	5,8	1044	10,5	451,5	1495,5
14-15	5,8	1044	10,5	451,5	1495,5
<b>15-16</b>	<b>5,8</b>	<b>1044</b>	<b>18,7</b>	<b>804,1</b>	<b>1848,1</b>

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5	6
16-17	5,8	1044	10,3	442,9	1486,9
17-18	5,75	1035	10,5	451,5	1486,5
18-19	5,2	936	10,5	451,5	1387,5
19-20	4,75	855	18,7	804,1	1659,1
20-21	4,1	738	10,3	442,9	1180,9
21-22	2,85	513	10,5	451,5	964,5
22-23	1,65	297	10,5	451,5	748,5
23-24	1,65	297	18,7	804,1	1101,1
Итого	100	18000	200	8600	26600 м <sup>3</sup> /сут

## 8.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формулам раздела 3.

Концентрация загрязнений бытовых стоков по взвешенным веществам:

$$C_{\text{быт}}^{\text{взв}} = \frac{65 \cdot 1000}{150} = 433,33 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{быт}}^{\text{БПК}_5} = \frac{60 \cdot 1000}{150} = 400 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по ХПК:

$$C_{\text{быт}}^{\text{ХПК}} = \frac{120 \cdot 1000}{150} = 800 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту аммонийному:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{амм}}}} = \frac{10 \cdot 1000}{150} = 66,67 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{общ}}}} = \frac{12 \cdot 1000}{150} = 80 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по фосфору общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{P}_{\text{общ}}}} = \frac{2 \cdot 1000}{150} = 13,33 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по взвешенным веществам:

$$C_{\text{общ}}^{\text{взв}} = \frac{433,33 \cdot 18000 + 70 \cdot 8600}{26600} = 315,862 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} = \frac{400 \cdot 18000 + 140 \cdot 8600}{26600} = 316 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по ХПК:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{ХПК}} = \frac{800 \cdot 18000 + 200 \cdot 8600}{26600} = 606 \text{ мг / дм}^3 .$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту аммонийному:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{амм}}} = \frac{66,67 \cdot 18000 + 10 \cdot 8600}{26600} = 48,34 \text{ мг / дм}^3 .$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{общ}}} = \frac{80 \cdot 18000 + 12 \cdot 8600}{26600} = 58 \text{ мг / дм}^3 .$$

Концентрация загрязнений общего стока по фосфору общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{P}} = \frac{13,33 \cdot 18000 + 3 \cdot 8600}{26600} = 9,99 \text{ мг / дм}^3 .$$

Эквивалентное число жителей:

$$N_{\text{экв}}^{\text{взв}} = \frac{70 \cdot 8600}{65} = 9262 \text{ чел. ;}$$

$$N_{\text{экв}}^{\text{БПК}_5} = \frac{140 \cdot 8600}{60} = 20067 \text{ чел.}$$

Приведенное число жителей:

$$N_{\text{прив}}^{\text{взв}} = 120000 + 9262 = 129262 \text{ чел. ;}$$

$$N_{\text{прив}}^{\text{БПК}_5} = 120000 + 20067 = 140067 \text{ чел.}$$

### 8.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах

#### 8.3.1 Определение коэффициента смешения и кратности разбавления

Коэффициент смешения определяется по формуле (4.1)

$$K_{\text{см}} = \frac{1 - e^{-0,27 \cdot \sqrt[3]{500}}}{1 + \frac{10,9}{0,308} \cdot e^{-0,27 \cdot \sqrt[3]{500}}} = 0,171 .$$

Коэффициент извилистости реки по формуле (4.3)

$$K_{\text{изв}} = \frac{0,5}{0,5} = 1 .$$

Коэффициент турбулентной диффузии по формуле (4.4)

$$D = \frac{0,465 \cdot 2,6}{200} = 0,00605 .$$

Коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, по формуле (4.2)

$$K_{г.у.} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00605}{0,308}} = 0,27.$$

Кратность разбавления перед расчетным пунктом водопользования по формуле (4.5)

$$n = \frac{0,171 \cdot 10,9 + 0,308}{0,308} = 7,06.$$

### 8.3.2 Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему

Эквивалент населения определяется по формуле (4.6)

$$\text{ЭН} = \frac{Q_{\text{ср.сут.}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a} = \frac{26600 \cdot 316}{60} = 140100 \text{ чел.}$$

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле (4.7)

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} \cdot Q_{\text{ср.сут.}}}{1000} = \frac{316 \cdot 26600}{1000} = 8406 \text{ кг / сут.}$$

Допустимую концентрацию загрязняющих веществ в очищенных сточных водах устанавливаем по таблице 4.1 (таблица 5.1[1]). Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам определяется по формуле (4.8)

$$C_{\text{ДК}}^{\text{взв}} = 20 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}^{\text{взв}} = \frac{315,862 - 20}{315,862} \cdot 100 = 93,7 \%;$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{БПК}_5} = 15 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}^{\text{БПК}_5} = \frac{316 - 15}{316} \cdot 100 = 95,2 \%;$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ХПК}} = 70 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}^{\text{ХПК}} = \frac{606 - 70}{606} \cdot 100 = 88 \%;$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{амм}}} = 10 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}^{\text{N}_{\text{амм}}} = \frac{48,34 - 10}{48,34} \cdot 100 = 98 \%;$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{общ}}} = 20 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}^{\text{N}_{\text{общ}}} = \frac{58 - 20}{58} \cdot 100 = 65,5 \%;$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{P}_{\text{общ}}} = 2 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}^{\text{P}_{\text{общ}}} = \frac{9,99 - 2}{9,99} \cdot 100 = 80 \%;$$

### 8.3.3 Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта

Допустимая концентрация *нефтепродуктов* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9)

$$C_{\text{ДК}}^{\text{нефт.}} = [(7,06 - 1)(0,05 - 0,01)] + 0,05 = 0,29 \text{ мг / дм}^3,$$

где  $n = 7,06$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п. 8.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,05$  мг/дм – норматив предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в воде водотока, принят по [3];

$C_{\text{ф}} = 0,01$  мг/дм – фоновая концентрация нефтепродуктов в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *нефтепродуктам* определяется по формуле (4.8)

$$\Xi^{\text{нефт.}} = \frac{0,3 - 0,29}{0,29} \cdot 100 = 3,4 \%$$

Достигаемая эффективность удаления нефтепродуктов на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 70 % [8].

Допустимая концентрация *СПАВ (анион)* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9)

$$C_{\text{ДК}}^{\text{СПАВ(анион)}} = [(7,06 - 1)(0,1 - 0,08)] + 0,1 = 0,22 \text{ мг / дм}^3,$$

где  $n = 7,06$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п. 8.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,1$  мг/дм – норматив предельно допустимой концентрации СПАВ (анион) в воде водотока, принят по [3];

$C_{\text{ф}} = 0,08$  мг/дм – фоновая концентрация СПАВ (анион) в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *СПАВ (анион)* определяется по формуле (4.8)

$$\Xi^{\text{СПАВ(анион)}} = \frac{0,35 - 0,22}{0,35} \cdot 100 = 59 \%$$

Достигаемая эффективность удаления СПАВ (анион) на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 65 % [8].

### 8.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле (4.10)

$$T_{\text{о}} = 7,06 \cdot 3 + 15 = 36 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $T_{\phi} = 15^{\circ}\text{C}$  – максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время, принимается согласно заданию на проектирование;

$T_{\text{доп}} = 3^{\circ}\text{C}$  – допустимое превышение температуры воды водотока, принимается по [ ]).

#### 8.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений Составление технологической схемы очистки сточных вод

Для выбора метода очистки сточных вод в таблице 8.2 приведена качественная характеристика сточных вод до и после очистки, а также необходимая степень очистки сточных вод.

Таблица 8.2 – Качественная характеристика сточных вод

Наименование показателя	Значение показателя		Степень очистки, %
	до очистки	после очистки	
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	315,86	20	93,7
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	316	15	95,2
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	606	70	88
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	48,34	10	98
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	58	20	65,5
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	9,99	2	80
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,29	3,4
СПАВ (анион), мг/дм <sup>3</sup>	0,35	0,22	59

На основании анализа характеристики состава сточных вод (таблица 8.2), а также с учетом рекомендаций таблицы 5.1, назначаем биологическую очистку с доочисткой на микрофильтрах. Исходя из того, что на сооружения биологической очистки должны поступать сточные воды с содержанием взвешенных веществ не более 150 мг/дм<sup>3</sup>, назначаем механическую очистку. Учитывая среднесуточный расход сточных вод, для биологической очистки принимаем биофильтры, для механической – решетки, горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды и горизонтальные отстойники. Для дезинфекции сточных вод назначаем хлорирование. Для смешения сточной воды с хлором предусматриваем смеситель, а для окисления загрязнений хлором – контактные резервуары. Так как требуется снижение концентрации биогенных элементов (азота и фосфора), то для этого предусмотрим доочистку на барабанных сетках и микрофильтрах. Удаление специфических загрязнений (нефтепродуктов и СПАВ (анион)) будет осуществляется соответственно на сооружениях механической очистки и биологическим методом на биофильтрах.

Схема обработки осадка: отбросы, задерживаемые на решетках, удаляются на свалку; песок из песколовки поступает на песковые площадки, откуда периодически вывозится и используется в строительных целях; биологическая пленка после вторичных отстойников совместно с осадком из первичных отстойников поступает на механическое обезвоживание; механически обезвоженный осадок подвергается термосушке с последующей утилизацией.

Принципиальная схема очистной станции представлена на рисунке 8.1.

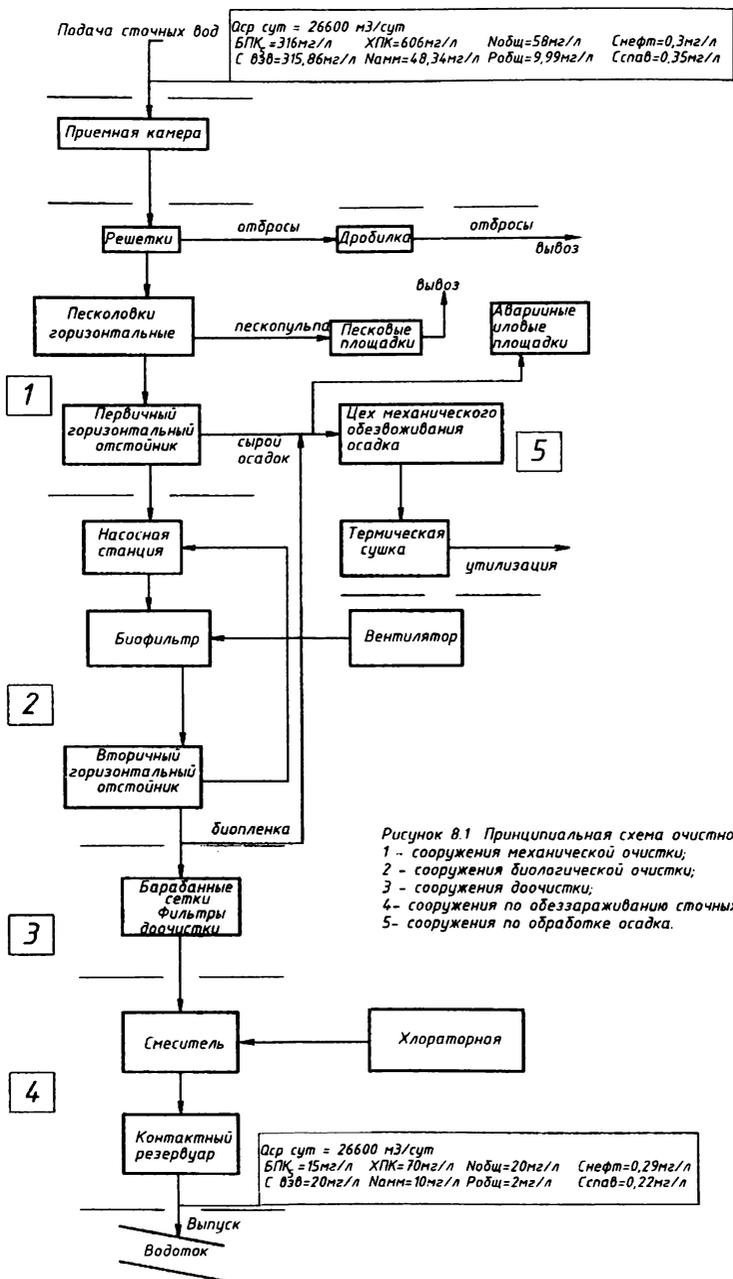


Рисунок 8.1 Принципиальная схема очистной станции:  
 1 - сооружения механической очистки;  
 2 - сооружения биологической очистки;  
 3 - сооружения доочистки;  
 4 - сооружения по обеззараживанию сточных вод;  
 5 - сооружения по обработке осадка.

## 9 ПРИМЕР РАСЧЁТА № 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 28100 М<sup>3</sup>/СУТКИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ:

Местонахождение объекта канализования – Гродненская область

Количество жителей в городе – N = 90 тыс. чел

Норма водоотведения – q<sub>н</sub> = 240 л/(сут.чел)

Температура городских сточных вод – t<sub>гсв</sub> = 15 °С

Концентрация нефтепродуктов городских сточных вод – 0,45 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) городских сточных вод – 0,4 мг/дм<sup>3</sup>

Данные по промышленному предприятию:

Количество производственных сточных вод – Q<sub>гр</sub> = 6500 м<sup>3</sup>/сут

Режим работы предприятия (количество смен) – 2

Коэффициент неравномерности – 1,6

*Качественный состав производственных сточных вод:*

БПК<sub>5</sub> = 190 мг/дм<sup>3</sup>

ХПК = 280 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ – C<sub>взв.</sub> = 350 мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей N<sub>амм</sub> = 15 мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий N<sub>общ.</sub> = 20 мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий P<sub>общ.</sub> = 4,5 мг/дм<sup>3</sup>

Среднемесячная температура сточных вод – t<sub>г</sub> = 15 °С

Данные по водотоку:

Наименьший среднемесячный расход воды водотока года 95 % обеспеченности в створе у места выпуска сточных вод – Q = 5,3 м<sup>3</sup>/с

Средняя глубина – H<sub>ср</sub> = 2,7 м

Средняя скорость течения – V<sub>ср</sub> = 0,54 м/с

длина реки по фарватеру – L<sub>ф</sub> = 0,5 км

длина реки по прямой – L<sub>пр</sub> = 0,5 км

тип водотока – рыбохозяйственный 1 категории

*Качественный состав воды водотока:*

температура воды – t<sub>р</sub> = 15 °С

растворенный кислород – O<sub>2</sub> = 6,2 мг/дм<sup>3</sup>

БПК<sub>5</sub> = 1,3 мг/дм<sup>3</sup>

ХПК = 2 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ – C<sub>взв.</sub> = 12 мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей N<sub>амм</sub> = 0,2 мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий N<sub>общ.</sub> = 2,0 мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий P<sub>общ.</sub> = 0,19 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация нефтепродуктов – 0,03 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) – 0,06 мг/дм<sup>3</sup>

### 9.1. Определение расходов сточных вод поступающих на очистную станцию

Определяем расходы по формулам раздела 2:

$$Q_{\text{ср.сут}}^{\text{быт}} = \frac{240 \cdot 90000}{1000} = 21600 \text{ м}^3 / \text{сут};$$

$$q_{\text{ср.сек}}^{\text{быт}} = \frac{21600}{24 \cdot 3,6} = 250 \text{ л / с.}$$

Производительность городской очистной станции:

$$Q_{\text{ср.сут}} = 21600 + 6500 = 28100 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Средний часовой расход:

$$Q_{\text{ср.час}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24} = \frac{28100}{24} = 1170,83 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.сек}} = \frac{Q_{\text{ср.час}}}{3,6} = \frac{1170,83}{3,6} = 325,23 \text{ л / с}.$$

Расчёт подачи стоков по часам суток произведён в табличной форме (таблица 9.1).

Таблица 9.1 – Приток сточных вод по часам суток на очистные сооружения

Часы	Приток сточных вод от населения		Приток сточных вод от промпредприятия		Суммарный приток сточных вод, м3/ч
	%	м3/ч	%	м3/ч	
1	2	3	4	5	6
0-1	1,75	378	–	–	378
1-2	1,75	378	–	–	378
2-3	1,75	378	–	–	378
3-4	1,75	378	–	–	378
4-5	1,75	378	–	–	378
5-6	4,5	972	–	–	972
6-7	5,4	1166,4	–	–	1166,4
7-8	5,4	1166,4	–	–	1166,4
8-9	5,75	1242	9	292,5	1534,5
9-10	5,75	1242	10,5	341,25	1583,25
10-11	5,75	1242	10,5	341,25	1583,25
11-12	5,15	1112,4	20	650	1762,4
12-13	4,6	993,6	9	292,5	1286,1
13-14	5,525	1193,4	10,5	341,25	1534,65
14-15	5,725	1236,6	10,5	341,25	1577,85
15-16	5,725	1236,6	20	650	1886,6
16-17	5,725	1236,6	9	292,5	1529,1
17-18	5,3	1144,8	10,5	341,25	1486,05
18-19	5,025	1085,4	10,5	341,25	1426,65
19-20	4,8	1036,8	20	650	1686,8
20-21	4,475	966,6	9	292,5	1259,1
21-22	3,15	680,4	10,5	341,25	1021,65
22-23	1,75	378	10,5	341,25	719,25
23-24	1,75	378	20	650	1028
Σ	100	21600	200	6500	28100

Из таблицы 9.1 видно, что наибольший расход сточных вод с 15 до 16 часов; минимальный с 0 до 5, расходы сточных вод в это время составляют:

$$Q_{\text{час}}^{\text{max}} = 1886,6 \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad Q_{\text{час}}^{\text{min}} = 378 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 0,524 \text{ м}^3 / \text{с}; \quad q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 0,105 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 524 \text{ л / с}; \quad q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 105 \text{ л / с}$$

## 9.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа населения

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формулам раздела 3.

Концентрации загрязнений бытовых стоков по взвешенным веществам:

$$C_{\text{быт}}^{\text{взв}} = \frac{65 \cdot 1000}{240} = 270,83 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{быт}}^{\text{БПК}_5} = \frac{60 \cdot 1000}{240} = 250 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по ХПК:

$$C_{\text{быт}}^{\text{ХПК}} = \frac{120 \cdot 1000}{240} = 500 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по аммоний иону:

$$C_{\text{быт}}^{\text{Нам}} = \frac{10 \cdot 1000}{240} = 41,67 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по азоту общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{Нобщ}} = \frac{12 \cdot 1000}{240} = 50 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по фосфору общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{Робщ}} = \frac{2 \cdot 1000}{240} = 8,33 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по взвешенным веществам:

$$C_{\text{см}}^{\text{взв}} = \frac{270,83 \cdot 21600 + 350 \cdot 6500}{28100} = 289,14 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{см}}^{\text{БПК}_5} = \frac{250 \cdot 21600 + 190 \cdot 6500}{28100} = 236,12 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по ХПК:

$$C_{\text{см}}^{\text{ХПК}} = \frac{500 \cdot 21600 + 280 \cdot 6500}{28100} = 449,11 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по аммоний иону:

$$C_{\text{см}}^{\text{Нам}} = \frac{41,67 \cdot 21600 + 15 \cdot 6500}{28100} = 35,5 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту общему:

$$C_{\text{см}}^{\text{Нобщ}} = \frac{50 \cdot 21600 + 20 \cdot 6500}{28100} = 43,06 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрация загрязнений общего стока по фосфору общему:

$$C_{\text{см}}^{\text{Робщ}} = \frac{8,33 \cdot 21600 + 4,5 \cdot 6500}{28100} = 7,44 \text{ мг / дм}^3.$$

Эквивалентное число жителей:

$$N_{\text{эв}}^{\text{взв}} = \frac{350 \cdot 6500}{65} = 35000 \text{ чел} \quad N_{\text{эв}}^{\text{БПК5}} = \frac{190 \cdot 6500}{60} = 20584 \text{ чел}$$

Приведенное число жителей:

$$N_{\text{прив}}^{\text{взв}} = 90000 + 35000 = 125000 \text{ чел} \quad N_{\text{прив}}^{\text{БПК5}} = 90000 + 20584 = 110584 \text{ чел}$$

### 9.3 Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ в очищенных сточных водах

#### 9.3.1 Определение коэффициента смешения и кратности разбавления

Коэффициент смешения определяется по формуле (4.1)

$$K_{\text{см}} = \frac{1 - e^{-0,282 \cdot \sqrt[3]{500}}}{1 + \frac{5,3}{0,32523} \cdot e^{-0,282 \cdot \sqrt[3]{500}}} = 0,3262.$$

Коэффициент извилистости реки по формуле (4.3)

$$K_{\text{изв}} = \frac{L_{\text{ф}}}{L_{\text{пр}}} = \frac{0,5}{0,5} = 1.$$

Коэффициент турбулентной диффузии по формуле (4.4)

$$D = \frac{0,54 \cdot 2,7}{200} = 0,00729.$$

Коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, по формуле (4.2)

$$K_{гв} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00729}{0,32523}} = 0,282.$$

Кратность разбавления перед расчетным пунктом водопользования по формуле (4.5)

$$n = \frac{0,3262 \cdot 5,3 + 0,32523}{0,32523} = 6,3.$$

### 9.3.2 Установление допустимых концентраций по показателям БПК<sub>5</sub>, ХПК, взвешенным веществам, аммоний иону, азоту общему, фосфору общему

Эквивалент населения определяется по формуле (4.6)

$$\text{ЭН} = \frac{28100 \cdot 236,12}{60} = 110583 \text{ чел.}$$

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле (4.7)

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{28100 \cdot 236,12}{1000} = 6634,97 \text{ кг / сут.}$$

Допустимую концентрацию загрязняющих веществ в очищенных сточных водах устанавливаем по таблице 4.1. Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам определяется по формуле (4.8).

Степень необходимой очистки по взвешенным веществам:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{взв.в}} = 20 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}_{\text{взв.в}} = \frac{289,14 - 20}{289,14} \cdot 100 = 93,08 \%$$

Степень необходимой очистки по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{БПК}_5} = 15 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}_{\text{БПК}_5} = \frac{236,9 - 15}{236,12} \cdot 100 = 93,65 \%$$

Степень необходимой очистки по ХПК:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ХПК}} = 70 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}_{\text{ХПК}} = \frac{449,11 - 70}{449,11} \cdot 100 = 84,41 \%$$

Степень необходимой очистки по азоту аммонийному:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{амм}}}} = 10 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}_{\text{N}_{\text{амм}}}} = \frac{35,5 - 10}{35,5} \cdot 100 = 71,83 \%$$

Степень необходимой очистки по азоту общему:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{Нобщ}} = 20 \text{ мг / дм}^3; \quad \mathcal{E}_{\text{Нобщ}} = \frac{43,06 - 20}{43,06} \cdot 100 = 53,55 \%$$

Степень необходимой очистки по фосфору общему:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{Робщ}} = 2 \text{ мг / дм}^3. \quad \mathcal{E}_{\text{Робщ}} = \frac{7,44 - 2}{7,44} \cdot 100 = 73,12 \%$$

### 9.3.3 Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта

Допустимая концентрация *нефтепродуктов* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9)

$$C_{\text{ДК}}^{\text{нефт.}} = [(6,3 - 1) \cdot (0,05 - 0,03)] + 0,05 = 0,16 \text{ мг / дм}^3,$$

где  $n = 6,3$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.9.3.1;

$C_{\text{ПДК}} = 0,05 \text{ мг/дм}$  – норматив предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{Ф}} = 0,03 \text{ мг/дм}$  – фоновая концентрация нефтепродуктов в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *нефтепродуктам* определяется по формуле (4.8)

$$\mathcal{E}_{\text{нефт.}} = \frac{0,45 - 0,16}{0,45} \cdot 100 = 64,4 \%$$

Достигаемая эффективность удаления нефтепродуктов на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 70 % [8].

Допустимая концентрация *СПАВ (анион)* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9)

$$C_{\text{ДК}}^{\text{СПАВ(анион)}} = [(6,3 - 1) \cdot (0,1 - 0,06)] + 0,1 = 0,31 \text{ мг / дм}^3,$$

где  $n = 6,3$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.9.3.1 данного пособия.

$C_{\text{ПДК}} = 0,1 \text{ мг/дм}$  – норматив предельно допустимой концентрации СПАВ (анион) в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{Ф}} = 0,06 \text{ мг/дм}$  – фоновая концентрация СПАВ (анион) в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно задания на проектирование.

Степень необходимой очистки по *СПАВ (анион)* определяется по формуле (4.8)

$$\mathcal{E}_{\text{СПАВ(анион)}} = \frac{0,4 - 0,31}{0,4} \cdot 100 = 22,5 \%$$

Достигаемая эффективность удаления СПАВ (анион) на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 65 % [8].

### 9.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле (4.10)

$$T_{\text{отв}} = 6,3 \cdot 1,5 + 15 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

где  $T_{\text{ф}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время, принимается согласно заданию на проектирование;

$T_{\text{доп}} = 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – допустимое превышение температуры воды водотока, принимается по [5]).

## 9.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений. Составление технологической схемы очистки сточных вод

Для выбора метода очистки сточных вод в таблице 9.2 приведена качественная характеристика сточных вод до и после очистки, а также необходимая степень очистки сточных вод.

Таблица 9.2 – Качественная характеристика сточных вод

Наименование показателя	Значение показателя		Степень очистки, %
	до очистки	после очистки	
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	289,12	20	93,08
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	236,12	15	93,65
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	449,11	70	84,41
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	35,5	10	71,83
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	43,06	20	53,35
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	7,44	2	73,12
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,45	0,16	64,4
СПАВ (анион), мг/дм <sup>3</sup>	0,4	0,31	22,5

На основании анализа характеристики состава стоков (таблица 9.2), а также с учетом рекомендаций таблицы 5.1, назначаем биологическую очистку с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 % и биологическим удалением фосфора.

В курсовом проекте выбран следующий комплекс сооружений:

- приемная камера;

1) сооружения механической очистки сточных вод:

- решетки;
- песколовки горизонтальные с прямолинейным движением воды;
- первичные горизонтальные отстойники;

2) сооружения биологической очистки сточных вод:

- аэротенк с выделенными зонами дефосфотации, денитрификации, нитрификации;

- вторичные горизонтальные отстойники;
- 3) сооружения для дезинфекции сточных вод:
  - смеситель типа лоток Паршалля;
  - хлораторная;
  - контактный резервуар;
- 4) сооружения по обработке осадка сточных вод:
  - песковые бункера;
  - цех механического обезвоживания осадка (центрифуги);
  - термическая сушка.

Приходящие сточные воды попадают в приемную камеру, а затем первоначально очищаются, проходя решетки, где оседают крупные плавающие отбросы. Сточные воды, освобожденные от крупноразмерных загрязнений поступают на очистку от песка в песколовку горизонтальную с прямолинейным движением воды. Осадок из песколовки удаляется на песковые бункера. Сточные воды, очищенные от минеральных тяжелых примесей, поступают в первичные отстойники, которые предназначены для задержания более мелких взвесей путем отстаивания грубодисперсных нерастворенных примесей под действием гравитационной силы.

Далее стоки поступают на биологическую очистку в аэротенки. Для разработки технологической схемы по глубокой очистке сточных вод от азота и фосфора предлагается каскадная технология очистки сточных вод, которая представлена в следующей последовательности: выделение анаэробной зоны для удаления фосфора, создание зоны денитрификации и нитрификации.

Принципиальная схема очистной станции представлена на рисунке 9.1.

В соответствии с предложенной схемой сточная жидкость и 100 % циркулирующего активного ила подаются в анаэробное отделение.

Иловая смесь из аэротенка поступает во вторичный отстойник для отделения ила от сточных вод.

Очищенные сточные воды после вторичных отстойников направляются в смеситель, где происходит смешение сточной воды с хлорной водой, приготовленной в хлораторной. Для контакта сточной воды с хлором предусматривается установка контактных резервуаров. После контактных резервуаров очищенные сточные воды сбрасываются в реку.

Избыточный ил из вторичных отстойников, сырой осадок из первичных отстойников поступают в цех механического обезвоживания осадка, в котором установлены центрифуги. Обезвоженный осадок направляется на термическую сушку. В качестве резервного метода обезвоживания принято устройство аварийных иловых площадок.

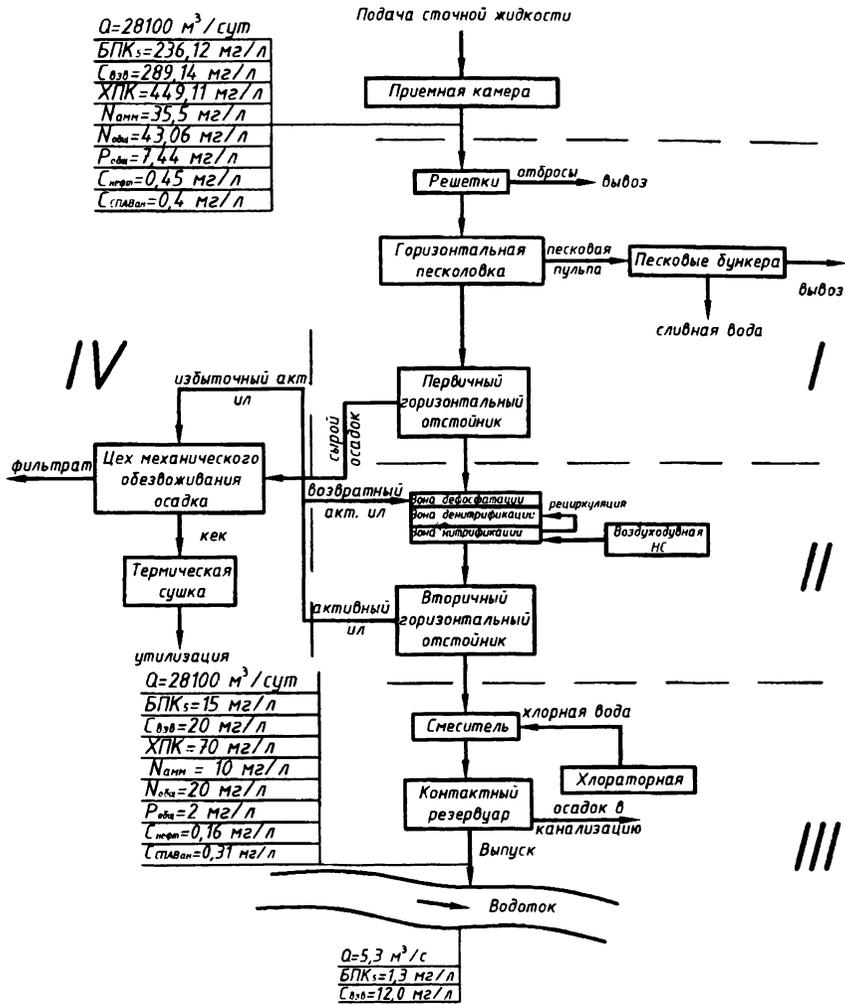


Рис. 9.1 – Принципиальная схема очистной станции

- I – сооружения механической очистки
- II – сооружения биологической очистки
- III – сооружения для дезинфекции
- IV – сооружения по обработке осадка сточных вод

## 10 РАЗРАБОТКА ГЕНПЛАНА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ

Генеральный план разрабатывается после того, как определены количество и размеры всех очистных сооружений, а также зданий, входящих в комплекс очистной станции.

Основой генплана является принятая технологическая схема.

При разработке генплана следует руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Месторасположение отдельных сооружений и общая планировка очистной станции должны обеспечить наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод; все сооружения должны быть доступны для ремонта и обслуживания.

2. Компоновка всех сооружений должна обеспечить возможность строительства очистной станции по очередям и последующего расширения ее в связи с увеличением притока сточных вод.

3. Протяженность коммуникаций должна быть по возможности минимальной.

4. Все сооружения должны быть расположены более компактно. Целесообразно блокировать отдельные сооружения в группы. Рекомендуемый коэффициент застройки – 0,7.

5. Разрывы между отдельными сооружениями должны быть минимальными и в то же время обеспечивать возможность очередности их строительства.

Предварительно они могут намечаться следующими:

для группы одноименных сооружений – 2–3 м,

для группы разноименных сооружений – 5–10 м,

для группы сооружений механической и биологической очистки – 15–20 м,

для сооружений и иловых площадок с учетом обсадки их деревьями – 25–30 м,

для метантенков, газгольдеров и других сооружений (в зависимости от их ёмкости) – 20–50 м,

для расходного склада хлора: расстояние от административных и бытовых зданий – 100 м, от производственных зданий, в которых постоянно находится обслуживающий персонал – 50 м, от производственных зданий, в которых обслуживающий персонал бывает периодически – 30 м.

6. К каждому сооружению должен быть обеспечен подъезд транспорта для доставки материалов при ремонте.

7. На генплане станции следует указать насыпи и выемки. Для уменьшения земляных работ экономически выгодно при устройстве насыпей и выемок соблюдать равенство их объемов.

8. Сооружения следует располагать симметрично, обеспечивая равномерное распределение сточной жидкости между отдельными сооружениями.

9. Кроме основных сооружений на генплан следует нанести все вспомогательные сооружения: котельную, ремонтные мастерские, гараж, склады, административное здание с лабораторией, насосные и воздушные станции, трансформаторную площадку, сети местной канализации и другие.

10. В коммуникациях очистной станции следует предусмотреть возможность выключения из работы для ремонта групп сооружений и отдельных сооружений, а также аварийный выпуск, позволяющий выключить из работы в крайнем случае всю станцию.

11. Территория станции должна быть ограждена, благоустроена, озеленена, освещена и иметь дороги с искусственными покрытиями и пешеходные дорожки к каждому из сооружений и зданий.

Площадь озеленения должна составлять не менее 15–20 % площади в пределах границ территории очистных сооружений.

Травяные газоны и посадка деревьев и кустарников должны быть: на площадках у главного въезда и входа на территорию; вдоль проездов и площадок для разворота автомобильного транспорта; на площадках в районе размещения административно-бытовых зданий и помещений, лабораторий, мест отдыха и спортивных площадок; вокруг открытых сооружений; на полосах, отделяющих тротуары и пешеходные дорожки от дорог, а также от сооружений с вредными выделениями.

На участках без твердого покрытия, а также вдоль ограды территории очистных сооружений следует, как правило, предусматривать посев трав.

Для полива дорог и зелёных насаждений в летний период следует предусматривать поливочные краны.

Вертикальная планировка территории очистных сооружений должна обеспечить отвод поверхностных вод.

Планировочные отметки территории следует назначать в соответствии с технологическими требованиями к вертикальной посадке сооружений, исходя из условий максимального сохранения естественного рельефа и почвенного покрова, минимальных объемов земляных работ, отвода поверхностных вод со скоростями, исключающими возможность эрозии почвы.

К местам расположения технологического оборудования у очистных сооружений и на сетях следует предусматривать удобные подходы, площадки, лестницы и при необходимости ограждения.

Главный вход, проходную и въезд на территорию очистных сооружений необходимо располагать со стороны основного подхода и подъезда трудящихся. Здесь же за оградой территории очистных сооружений следует предусматривать площадку для стоянки автотранспорта.

На генплане обязательно наносятся горизонтали и роза ветров.

Генплан должен быть увязан с ситуационным планом. Примеры оформления ситуационных планов приводятся в приложениях [1].

Варианты генпланов к численному примеру № 1 городской очистной станции производительностью 129300 м<sup>3</sup>/сут и к численному примеру № 2 станции производительностью 26600 м<sup>3</sup>/сут приведены в приложениях [1].

## 11 СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ПО ХОДУ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ

Профиль составляется по наиболее неблагоприятному (длинному) направлению движения воды. При этом высотная схема расположения очистных сооружений должна быть составлена так, чтобы обеспечивалось, как правило, самотечное движение воды от одного сооружения к другому. Движение осадков также по возможности должно быть самотечным, но зачастую осадок приходится перекачивать.

Для самотечного движения сточной воды по всем сооружениям очистной станции необходимо, чтобы отметка поверхности воды в подводящем канале превышала отметку воды в водоёме при высоком горизонте на величину, достаточную для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям с учётом запаса 1,0÷1,5м, который необходим для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водоём. Нормальная работа очистной станции зависит от правильного определения гидравлических потерь.

Кроме того, нужно предусмотреть некоторый запас напора с расчётом на будущее расширение очистной станции.

При составлении профилей надо предусматривать, чтобы каждое сооружение было установлено на плотном, нетронутом грунте. Если необходимо поместить сооружение целиком в насыпи, то оно должно иметь фундаменты, опирающиеся на материковый грунт.

Построению профиля предшествует гидравлический расчет коммуникаций. Расчет сводится в таблицу формы 10.1.

Таблица 10.1 – Расчет коммуникаций по движению воды

№ участков и название сооружений	Длина участка, м	Форма сечения	Размер сечения или диаметр, мм	Расчётный расход, л/с	Скорость, м/с	Уклон или 1000/	Потери напора по длине, $h_l$ , м	Вычисления местных сопротивлений	Величина местных сопротивлений, $h_{мест}$ , м	Суммарные потери напора, м	Наименование местных сопротивлений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Потери напора в коммуникациях определяют по формуле:

$$h = h_l + h_{мест} , \quad (10.1)$$

где  $h_l$  – потери напора по длине, м;

$h_{мест}$  – потери на местные сопротивления, м.

$$h_l = i \cdot l ; \quad (10.2)$$

$$h_{мест} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} , \quad (10.3)$$

где  $i$  – уклон каналов, лотков, трубопроводов;

$l$  – длина участка, м;

$\xi$  – коэффициент местных сопротивлений;

$v$  – скорость движения сточных вод на расчетном участке, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Так как при выполнении курсового проекта подробный технологический и гидравлический расчет производят только одного сооружения, то для построения профиля ориентировочные потери напора в остальных сооружениях можно принять по таблице 10.2.

Таблица 10.2 – Ориентировочные потери напора

Наименование сооружения	Потери напора
1	2
приемная камера	0,1 м
механические решетки, песколовки	0,1–0,2 м
решетки дробилки к аэрируемые песколовки	0,15–0,25 м
преаэраторы	0,2–0,25 м

Продолжение таблицы 10.2

1	2
отстойники: горизонтальные	0,2–0,4 м
вертикальные	0,4–0,5 м
радиальные	0,5–0,6 м
двухъярусные	0,25 м
азротенки	0,4–0,6 м
аэрофилтры высоконагружаемые	6–8 м
биофилтры с вращающимися оросителями	H+0,15 м
со спринклерами	H+0,5 м
азротенки, отстойники	0,5–0,8 м
контактные резервуары и смесители	0,15–0,3 м
барабанные сетки	0,3 м
песчаные филтры	H+(0,2–0,3) м
сборный колодец	0,5 м
распределительная чаша (на 4 отстойника)	0,67 м
распределительная чаша (на 2 отстойника)	0,56 м
коммуникации метантенков	2 м

Для упрощения расчётов в данном курсовом проекте при вычислении потерь напора в коммуникациях можно использовать следующие коэффициенты местных сопротивлений и потерь напора по таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Местные сопротивления

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления, потери напора
Слияние 2 потоков	$\xi = 0,56$
Разветвление потока на две (три) части	$\xi = 1,5$
Резкий поворот на 45°	$h_m = 0,0394$ м
Плавный поворот на 45°	$h_m = 0,0154$ м
Плавное расширение	$h_m = 0,0002$ м
Внезапное расширение	$h_m = 0,0008$ м
Потери на незатопленном водосливе	$h_m = 0,252$ м
Плавное сужение	$\xi = 0,307$
Резкий поворот на 90°	$\xi = 1,2$
Вход в трубу	$\xi = 0,016$
Вход в прямоугольный канал	$\xi = 0,4$
Распределительный лоток	$h_m = 0,075$ м
Плавный поворот на 90°	$\xi = 0,84$
Вход в трубу из перепадного колодца	$\xi = 0,5$

Сточные воды на очистных сооружениях движутся по открытым лоткам и каналам. Каналы и лотки рассчитываются с коэффициентом 1,4 на максимальный секундный пропуск воды. Вода к некоторым сооружениям (например, к радиальным отстойникам) подводится дюкерными трубопроводами.

Осаждающиеся компоненты сточных вод – песок, осадок первичных отстойников, активный ил, шламы производственных сточных вод – удаляются из сооружений самотеком, под гидростатическим давлением или насосами, гидроэлеваторами, эрлифтами. Удаление осадка непосредственно из иловых прямиков сооружений предпочтительнее плунжерными насосами, обеспечивающими отбор осадка с меньшей влажностью, чем при применении центробежных насосов.

Скорости движения городских или близких к ним по составу производственных сточных вод в каналах и трубах должны приниматься в соответствии с [8].

Наименьшие скорости движения сырых и сброженных осадков, а также уплотненного активного ила в напорных трубопроводах, принимаются в пределах 0,8–2,1 м/с при влажности осадков соответственно 98–90 % [8].

Поток сточных вод на очистной станции делится на части пропорционально пропускной способности соответствующих групп сооружений или отдельных сооружений внутри группы. Необходимо учитывать, что распределение концентрации взвеси (твердой фазы), влекомой сточной водой, не всегда пропорционально распределению самой воды (сказывается инерция движения взвеси в жидкости). Так, при Ш-образном разветвлении лотков средний из них будет перегружен по содержанию взвешенных веществ даже при вполне равномерном гидравлическом разделении потока жидкости. Предпочтительнее такие устройства для деления потока жидкостей, загрязненных взвешенными веществами, которые способствовали бы и равномерному распределению взвеси.

Деление потока может осуществляться разветвлением лотка (канала), распределительными чашами и камерами, распределительными каналами с малыми скоростями протока воды.

Деление потока на две части достаточно надежно может быть достигнуто при устройстве Т- или U-образной развилки. Рекомендуется предусматривать поворотный делитель, который устанавливается в положении, определяемом при наладке сооружений. Последовательное деление потока таким способом на большее число ответвлений требует сравнительно большой площади.

Более точным и удобным является деление потока в распределительных чашах на 4, 6, 8 частей водосливами (с широким порогом или с тонкой стенкой), установленными на одинаковых отметках. Наибольшая точность достигается при подводе воды к чашам дюкером снизу – отклонение от равномерного распределения  $\pm 3-6$  % при изменении нагрузки на сооружение в пределах от 0,75 до 1,25 расчетного расхода.

Гидравлический расчёт коммуникаций "по воде" очистных станций производительностью 129300 м<sup>3</sup>/сут и 26600 м<sup>3</sup>/сут приведен в литературе [1].

Для построения профиля используют суммарные потери напора на участках (графа 11 таблиц гидравлического расчёта). Отметки на каждом последующем участке должны отличаться от отметок на предыдущем участке как минимум на величину потерь.

Профиль "по воде" строят начиная от приемной камеры и до оголовка выпуска в водоем.

Профили "по осадку" и "илу" начинают от сооружения выпуска осадка или ила (из первичных или вторичных отстойников) и кончают наиболее удаленной точкой подачи на сооружения их обработки.

Профили по ходу движения воды к численному примеру № 1 (станция производительностью 129300 м<sup>3</sup>/сут) и к численному примеру № 2 (станция производительностью 26600 м<sup>3</sup>/сут) приведены в приложениях [1].

По профилю определяются высоты насыпей и глубины выемок, после чего границы насыпей и выемок наносятся на генплан. Примеры построения насыпей и выемок на генплане очистной станции приведены на рисунках 10.1 и 10.2.

По верху насыпей следует предусмотреть проходы вокруг сооружений.

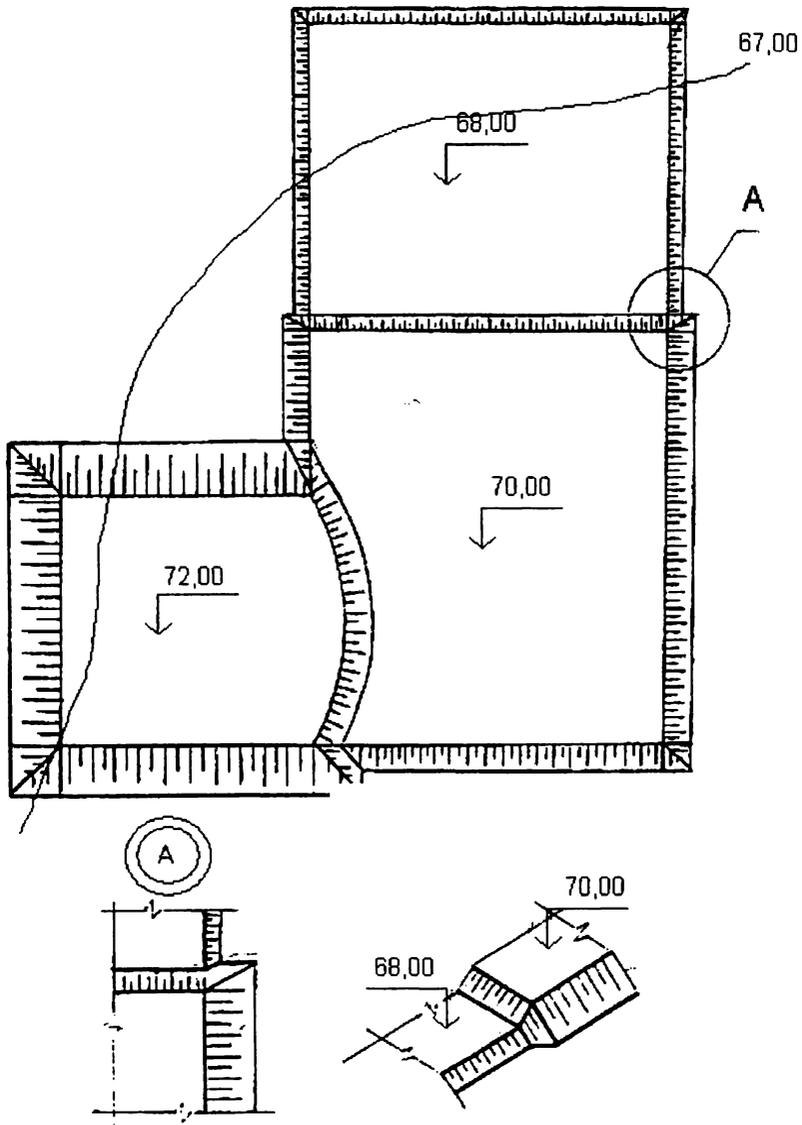


Рисунок 10.1. – Оформление насыпей на генплане



Примерный процент разброса притока бытовых сточных вод  
на очистную станцию по часам суток

**Приложение 1**

Часы суток	Q <sub>ср.с.</sub> , л						
	50	100	200	300	500	800	1250 и более
	K <sub>общ</sub>						
	1,8	1,6	1,4	1,35	1,25	1,2	1,15
0–1	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
1–2	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
2–3	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
3–4	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
4–5	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
5–6	3,3	4,35	4,2	4,8	5,05	4,9	4,8
6–7	5	5,95	5,8	5	5,15	4,9	4,8
7–8	7,2	5,8	5,8	5	5,15	5	4,8
8–9	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
9–10	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
10–11	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
11–12	6,4	4,8	5,05	5,25	5,1	5	4,8
12–13	3,7	3,95	4,2	5	5	4,8	4,7
13–14	3,7	5,55	5,8	5,25	5,1	5	4,8
14–15	4	6,05	5,8	5,65	5,2	5	4,8
15–16	5,7	6,05	5,8	5,65	5,2	5	4,8
16–17	6,3	5,6	5,8	5,65	5,2	5	4,8
17–18	6,3	5,6	5,75	4,85	5,15	5	4,7
18–19	6,3	4,3	5,2	4,85	5,1	5	4,8
19–20	5,25	4,35	4,75	4,85	5,1	5	4,8
20–21	3,4	4,35	4,1	4,85	5,1	5	4,8
21–22	2,2	2,35	2,85	3,45	3,8	4,5	4,8
22–23	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,4	3
23–24	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
Итого	100	100	100	100	100	100	100

Примерный процент разброса притока промышленных сточных вод  
на очистную станцию по часам смен

**Приложение 2**

Часы смен	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2
1	11,3	11	10,7	10,5	10,3	9	8,7	8,5	8
2	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
3	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
4	13,7	15	16,3	17,5	18,7	20	21,3	22,5	25
5	11,3	11	10,7	10,5	10,3	9	8,7	8,5	8
6	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
7	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
8	11,7	15	16,3	17,5	18,7	20	21,3	22,5	25
итого	100	100	100	100	100	100	100	100	100

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, С. Г. Городская очистная станция : пособие / С. Г. Белов, Т. И. Акулич, С. В. Андреюк. – Брест : БрГТУ, 2018. – 114 с.
2. Лапицкая, М. П. Очистка сточных вод (примеры расчётов) / М. П. Лапицкая. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 255 с.
3. Ласков, Ю. М. Примеры расчетов канализационных очистных сооружений : учебное пособие для вузов / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1987. – 256 с.
4. Лукиных, А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского: справочное пособие / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. – 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1987. – 152 с.
5. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 30 марта 2015, № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.04.2015, 8/29808.
6. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 21 мая 2017, № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 21.06.2017, 8/32141. Изменения и дополнения: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 5 сентября 2019 г. № 28 (зарегистрировано в Национальном правовом Интернет-портале Республики Беларусь, 21.09.2019, № 8/34619); постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 14 июня 2021 г. № 12 (зарегистрировано в Национальном правовом Интернет-портале Республики Беларусь, 29.06.2021, № 8/36855).
7. Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнений. Санитарные правила и нормы 2.1.2.12-33-2005, утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 28 ноября 2005 г. №198.
8. Канализация. Наружные сети и сооружения. СН 4.01.02-2019 Строительные нормы Республики Беларусь. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь – Минск : 2019.
9. Сторожук, Н. Ю. Водоотводящая сеть города : пособие / Н. Ю. Сторожук, С. В. Андреюк. – Брест : БрГТУ, 2018. – 79 с.
10. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М : Изд. дом «БАСТЕТ», 2014. – 382 с.
11. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : Экологические нормы и правила ЭкоНИП 17.06.02-002-2021, утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 21.09.2021 № 8-Т.

Учебное издание

**Составители:**

*Акулич Татьяна Ивановна  
Андреюк Светлана Васильевна*

# **Методические указания**

к выполнению практических занятий по дисциплине  
**«Технология очистки сточных вод»**  
для студентов специальности  
1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение  
и охрана водных ресурсов»

Ответственный за выпуск: Андреюк С. В.  
Редактор: Митлошук М. А.  
Компьютерная вёрстка: Северянина А. Г., Соколюк А. П.  
Корректор: Дударук С. А.

---

Подписано в печать 19.05.2023 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Arial». Усл. печ. л. 3,02. Уч. изд. л. 3,25. Заказ № 535. Тираж 19 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.