

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра комплексных систем водоснабжения**

## **ВОДООТВЕДЕНИЕ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

**(часть I)**

**курс лекций для студентов специальности  
«Инженерные системы сельскохозяйственного водо-  
снабжения, обводнения и водоотведения»**

**Краснодар, 2007**

УДК 628.3 (075.8)

Рецензент - заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения Кубанского государственного аграрного университета д.т.н., проф. Е.В. Кузнецов

Курс лекций рассмотрен на заседании кафедры комплексных систем водоснабжения (протокол № 8 от 02.04.2007 г.) и рекомендован к изданию методической комиссией факультета водоснабжения и водоотведения (протокол № 9 от 28.05.2007 г.).

Свистунов Ю.А. Водоотведение и очистка сточных вод (часть I) / Курс лекций для студентов специальности «Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и водоотведения»: - Краснодар: Куб.ГАУ.- 117 с.

В лекциях даны основные сведения о системах водоотведения, их классификация. Рассмотрены вопросы трассировки, проектирования и гидравлического расчета водоотводящих сетей различного назначения. Приведены общие сведения и основные данные оборудования систем водоотведения. Освещены вопросы формирования сточных вод, их состав и свойства.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	4
1	ВОДООТВЕДЕНИЕ. СХЕМЫ И СИСТЕМЫ	6
1.1	Классификация сточных вод. Основные показатели загрязненности	6
1.2	Элементы водоотводящих систем	13
1.3	Системы водоотведения городов	15
1.4	Условия приема сточных вод в водоотводящие сети	21
2	НОРМЫ, РЕЖИМЫ И РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ	23
2.1	Нормы водоотведения. Коэффициенты неравномерности водоотведения	23
2.2	Расчетные расходы бытовых и производственных сточных вод	26
3	НАРУЖНЫЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ	32
3.1	Схемы водоотводящих сетей	32
3.2	Трассировка уличной сети	35
3.3	Глубина заложения трубопроводов. Расположение трубопроводов в поперечном профиле улиц	37
3.4	Трубопроводы и каналы	43
3.5	Гидравлический расчет самотечных сетей водоотведения	45
3.6	Определение расчетных расходов сточных вод для отдельных участков сети.	51
3.7	Правила конструирования водоотводящих сетей	55
3.8	Дюкеры	64
3.9	Насосные станции систем водоотведения	67
3.10	Конструирование насосных станций	78
3.11	Общие требования по строительству и эксплуатации водоотводящих сетей	78
4	ВОДООТВОДЯЩАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОТВОДА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД	83
4.1	Системы дождевой канализации	83
4.2	Схемы дождевой сети	88
4.3	Гидравлический расчет водоотводящей сети	91
4.4	Очистные сооружения на водостоках	92
5	СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД	97
5.1	Состав сточных вод	97
5.2	Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод	99
5.3	Анализ состава сточных вод	103
6	ВОДОЕМЫ, ИХ ОХРАНА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ	106
6.1	Условия сброса сточных вод в водоемы	106
6.2	Влияние сточных вод на водоем	110
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Водоотведение и очистка сточных вод»

Водоотведением называется комплекс приборов, сетей и сооружений, предназначенных для организованного приема и удаления сточных вод за пределы населенного места или промышленного предприятия, а также их очистки и обеззараживания перед сбросом в водоприемник.

Объектами водоотведения являются: в населенных местах - здания жилого, общественного и производственного назначения; на промышленных площадках - здания производственного и служебного назначения, оборудованные внутренним водопроводом; и, кроме того, поверхность территории населенных мест и промышленных площадок, на которую выпадают атмосферные осадки.

Канализация разделяется на внутреннюю и наружную. Наружная канализация состоит из дворовых, внутриквартальных, уличных, заводских канализационных сетей, насосных станций для перекачки сточных вод и очистных сооружений.

Использование запасов воды бессточных озер и водохранилищ ледников и болот весьма проблематично в связи с определенным состоянием биологического и экологического равновесия в регионах.

В связи с дефицитом пресной воды обостряется задача об эффективном использовании ее во всех отраслях народного хозяйства. Поэтому особое значение приобретает высокоэффективное повторно-оборотное использование воды в промышленности и применение в целях мелиорации сточных вод бытового и производственного происхождения.

С учетом неравномерности распределения водных ресурсов, заключающейся в том, что 80 % речного стока находится в малонаселенной территории России, а 20 % соответственно приходится на области, где сосредоточены около 70 % производственных мощностей и основное количество населения, водообеспечение в этих густонаселенных регионах встречает значительные трудности.

В таблица 1.1 показан водный баланс с учетом использования пресной воды. В настоящее время общие тенденции использования воды продолжают сохраняться.

Таблица 1.1- Водный баланс РФ

Отрасль	Водопотребление км <sup>3</sup> /год	Водоотведение км <sup>3</sup> /год	Использование пресной воды км <sup>3</sup> /год
Сельское хозяйство	227	38	190
Промышленность	93	80	13
Жилищно-коммунальное хозяйство	24	15	9

В промышленности пресная вода применяется в качестве технологических растворов, теплоносителя, для переноса твердых масс в промывочных процессах.

Пресная вода высшего качества - питьевая вода - широко используется в санитарно-бытовых и хозяйственных целях, обеспечивая высокую степень благоустройства жилищ населения городов и сельских мест. Поэтому пресная вода наших открытых водоемов и земных недр является ценным природным сырьем, национальным богатством нашей страны.

Между относительной стоимостью воды и её качеством имеется зависимость: чем больше степень загрязнения воды, тем ниже ее стоимость и тем выше стоимость затрат на очистку.

Показанная взаимосвязь величин не противоречит физической сущности самого явления и состояния воды и может быть положена в основу экономических расчетов при оценке природных водных ресурсов, при анализе эффективности прямых и повторно-оборотных водных технологий.

Существенное значение имеет коэффициент качества воды  $d$ . Для чистых водоемов, являющихся, как правило, источниками водоснабжения значение коэффициента  $d$  близко к 1. Теоретически значение коэффициента  $d$  варьируется от 0 до 1.

# 1 ВОДООТВЕДЕНИЕ. СХЕМЫ И СИСТЕМЫ

## 1.2 Классификация сточных вод. Основные показатели загрязненности

*Сточные воды* - это пресные воды, изменившие после использования в бытовой и производственной деятельности человека свои физико-химические свойства и требующие отведения.

По происхождению сточные воды могут быть классифицированы на следующие: бытовые, производственные и атмосферные.

*Бытовые сточные воды* образуются в жилых, административных и коммунальных зданиях, а также в бытовых помещениях промышленных предприятий. Сточные воды, поступают в водоотводящую сеть от санитарных приборов. Особенности образования этих сточных вод хорошо известны.

*Производственные сточные воды* образуются в процессе производства различных товаров, изделий, продуктов, материалов и пр. К ним относятся отработавшие технологические растворы, технологические и промывные воды, воды барометрических конденсаторов, вакуум-насосов и охлаждающих систем; шахтные и карьерные воды; воды химводоочистки, воды от мытья оборудования и производственных помещений, а также от очистки и охлаждения отходов и их транспортировки.

*Атмосферные сточные воды* образуются в процессе выпадения дождей и таяния снега, как на жилой территории населенных пунктов, так и территории промышленных, сельскохозяйственных предприятий. Часто эти воды называют дождевыми или ливневыми, вследствие того, что в большинстве случаев максимальные расходы образуются в результате выпадения ливней.

Основными характеристиками сточных вод являются:

– количество сточных вод, характеризуется расходом, измеряемым в л/с или  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{смену}$ ,  $\text{м}^3/\text{сут}$  ;

– виды загрязнений и содержание их в сточных водах, характеризуется концентрацией загрязнений, измеряемой в мг/л или  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Важной характеристикой сточных вод является степень равномерности их образования и поступления в водоотводящие системы. Обычно она определяется неравномерностью поступления сточных вод по часам суток в году. Эти характеристики учитываются при проектировании водоотводящих систем.

По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются на органические, минеральные, биологические.

*Органические загрязнения* - это примеси растительного и животного происхождения.

*Минеральные загрязнения* - это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д.

*Биологические и бактериальные загрязнения* - это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные - возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Все примеси сточных вод, независимо от их происхождения, разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

К первой группе примесей относят нерастворимые в воде грубодисперсные примеси. Нерастворимыми могут быть примеси органической или неорганической природы. К этой группе относят микроорганизмы (простейшие, водоросли, грибы), бактерии и яйца гельминтов. Эти примеси образуют с водой неустойчивые системы. При определенных условиях они могут выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

Вторую группу примесей составляют вещества коллоидной степени дисперсности с размером частиц менее  $10^{-6}$  см. Гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий, примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер частиц затрудняет осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

К третьей группе относят примеси с размером частиц менее  $10^{-7}$  см. Они имеют молекулярную степень дисперсности. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

Примеси четвертой группы имеют размер частиц менее  $10^{-8}$  см, что соответствует ионной степени дисперсности. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности, аммонийные соли и фосфаты частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако, технология биологической очистки бытовых сточных вод не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют физико-химические методы очистки: ионный обмен, электродиализ и т.д.

Состав сточных вод и их свойства оценивают по результатам санитарно-химического анализа, включающего наряду со стандартными химическими тестами целый ряд физических, физико-химических и санитарно-бактериологических определений.

Сложность состава сточных вод и невозможность определения каждого из загрязняющих веществ приводит к необходимости выбора таких показателей, которые характеризовали бы определенные свойства воды без идентификации отдельных веществ. Такие показатели называются групповыми или суммарными. Например, определение органолептических показателей (запах, окраска) позволяет избежать количественного определения в воде каждого из веществ, обладающих запахом или придающих воде окраску.

*Полный санитарно-химический анализ* предполагает определение следующих показателей: температура, окраска, запах, прозрачность, величина рН, сухой остаток, плотный остаток и потери при прокаливании, взвешенные вещества, оседающие вещества по объему и по массе, перманганатная окисляемость, химическая потребность в кислороде (ХПК), биохимическая потребность в кислороде (БПК), азот (общий, аммонийный, нитритный, нитратный), фосфаты, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы и другие токсичные элементы, поверх-

ностно-активные вещества, нефтепродукты, растворенный кислород, микробное число, бактерии группы кишечной палочки (БГКП), яйца гельминтов.

Кроме перечисленных показателей, в число обязательных тестов полного санитарно-химического анализа на городских очистных станциях может быть включено определение специфических примесей, поступающих в водоотводящую сеть населенных пунктов от промышленных предприятий.

*Температура* - один из важных технологических показателей, функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. Поэтому температура - один из определяющих факторов процесса седиментации. Важнейшее значение имеет температура для биологических процессов очистки, так как от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

*Окраска* - органолептический показатель качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков - свидетельство присутствия производственных сточных вод. Для окрашенных сточных вод определяют интенсивность окраски по разведению до бесцветной, например 1:400; 1:250 и т.д.

*Запах* - органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяют качественно при температуре пробы 20°C и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т.д. При неясно выраженном запахе определение повторяют, подогревая пробу до 65 °С. Пороговое число - наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

*Концентрация ионов водорода* выражается величиной рН. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Сточные воды, подаваемые на сооружения биологической очистки, должны иметь значение рН в пределах 6,5 - 8,5. Производственные сточные воды (кислые или щелочные) должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение. Городские сточные воды обычно имеют слабощелочную реакцию среды (рН = 7,2-7,8).

*Прозрачность* характеризует общую загрязненность сточной воды нерастворенными и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1-3 см, а после очистки увеличивается до 15 см.

*Сухой остаток* характеризует общую загрязненность сточных вод органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях (в мг/л). Определяется этот показатель после выпаривания и дальнейшего высушивания при  $t = 105$  °С пробы сточной воды. После прокаливания (при  $t = 600$ °С) определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

*Плотный остаток* - это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (в мг/л). Определяется



при таких же условиях, что и сухой остаток. После прокаливания плотного остатка при  $t = 600^{\circ}\text{C}$  можно ориентировочно оценить соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод. При сравнении прокаленных сухого и плотного остатков городских сточных вод определено, что большая часть органических загрязнений находится в нерастворенном состоянии. При этом минеральные примеси в большей степени находятся в растворенном виде.

*Взвешенные вещества* - показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод. Кроме того, этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников. Количество взвешенных веществ - один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в мг/л, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется *зольностью*. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах составляет 100 - 500 мг/л.

*Оседающие вещества* - часть взвешенных веществ, оседающих на дно отстойного цилиндра за 2 ч отстаивания в покое. Этот показатель характеризует способность взвешенных частиц к оседанию, позволяет оценить максимальный эффект отстаивания и максимально возможный объем осадка, который может быть получен в условиях покоя. В городских сточных водах оседающие вещества в среднем составляют 50-75% общей концентрации взвешенных веществ.

*Под окисляемостью* понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. *Окисляемость* - групповой показатель. В зависимости от природы используемого окислителя различают химическую окисляемость, если при определении используют химический окислитель, и биохимическую, когда роль окислительного агента выполняют аэробные бактерии - этот показатель - биохимическая потребность в кислороде -БПК. В свою очередь, химическая окисляемость может быть перманганатной (окислитель  $\text{KMnO}_4$ ) бихроматной (окислитель  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) и иодатной (окислитель  $\text{KIO}_3$ ). Результаты определения окисляемости независимо от вида окислителя выражают в мг/л  $\text{O}_2$ . Бихроматную и иодатную окисляемость называют *химической потребностью в кислороде* или ХПК.

*Перманганатная окисляемость* - кислородный эквивалент легко - окисляемых примесей. Основная ценность этого показателя - быстрота и простота определения. Перманганатная окисляемость используется с целью получения сравнительных данных. Тем не менее, есть такие вещества, ко-

торые не окисляются  $\text{KMnO}_4$ . Определяя ХПК, можно достаточно полно оценить степень загрязненности воды органическими веществами.

*БПК* - кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами. БПК определяет количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. БПК характеризует биохимически окисляемую часть органических загрязнений сточной воды, находящихся в первую очередь в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси.

Для математического описания процесса биохимического потребления кислорода наиболее часто используют кинетическое уравнение первого порядка. Для вывода уравнения введем ряд обозначений:  $L_a$  - количество кислорода, необходимое для окисления всего органического вещества, т.е.  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  мг/л;  $L_t$  - то же, потребленное к моменту времени  $t$ , т.е.  $\text{БПК}_t$  мг/л;  $L_a - L_t$  - то же, остающееся в растворе к моменту времени  $t$ , мг/л. В рассматриваемом случае уравнение первого порядка имеет вид:

$$\frac{dL_t}{dt} = K(L_a - L_t)$$

или после преобразования, интегрирования и введения десятичных логарифмов уравнение будет иметь вид ( $k = K \cdot 2,301$ ):

$$t = \frac{1}{k} \lg \frac{\text{БПК}_{\text{полн}}}{\text{БПК}_{\text{полн}} - \text{БПК}_t}$$

$k$  - константа скорости потребления кислорода, для городских сточных вод в зависимости от их состава  $k = 0,15 - 0,25$ .

Для определения  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  вводят ограничение, по которому процесс биохимического потребления кислорода считается законченным, когда:

$$\text{БПК} = 0,99 \text{ БПК}_{\text{полн}},$$

Следовательно, получим уравнение:

$$t = \frac{1}{k} \lg \frac{\text{БПК}_{\text{полн}}}{\text{БПК}_{\text{полн}} - 0,99 \text{ БПК}_{\text{полн}}}$$

Величина  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  определяет расход кислорода в процессе биохимического окисления и является важнейшей технологической характеристикой для любого аэробного биоокислителя.

*Азот* находится в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы - фекалии, пищевые отходы. Неорганические соединения азота представлены восстановленными -  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  окисленными формами  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NO}_3^-$ . Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины - продукта жизнедеятельности человека. Кроме того, процесс аммонификации белковых соединений также приводит к образованию соединений аммония.

В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах (в виде нитритов и нитратов), как правило, отсутствует. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота. Окисленные формы азота могут появиться в сточной воде лишь после биологической очистки.

Источником соединений фосфора в сточных водах являются физиологические выделения людей, отходы хозяйственной деятельности человека и некоторые виды производственных сточных вод.

Концентрации азота и фосфора в сточных водах - важнейшие показатели санитарно-химического анализа, имеющие значение для биологической очистки. Азот и фосфор - необходимые компоненты состава бактериальных клеток. Их называют биогенными элементами. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен.

*Хлориды и сульфаты* - показатели, концентрация которых влияет на общее солесодержание.

*В группу тяжелых металлов* и других токсичных элементов входит большое число элементов, которое по мере накопления знаний о процессах очистки все более возрастает.

К токсичным тяжелым металлам относят железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть;

к токсичным элементам, не являющимся тяжелыми металлами, - мышьяк, сурьма, бор, алюминий и т.д.

Источник тяжелых металлов - производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

*Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ)* - органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, обуславливающих растворение этих веществ в маслах и в воде. Примерно 75% общего количества производимых СПАВ приходится на долю анионо-активных веществ, второе место по выпуску и использованию занимают неионогенные соединения. В городских сточных водах определяют СПАВ этих двух типов.

*Нефтепродукты* - неполярные и малополярные соединения, экстрагируемые гексаном. Концентрация нефтепродуктов в водоемах строго нормируется, и поскольку на городских очистных сооружениях степень их задержания не превышает 85%, в поступающей на станцию сточной воде также ограничивается содержание нефтепродуктов.

*Растворенный кислород* в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует. В аэробных процессах концентрация кислорода должна быть не менее 2 мг/л.

*Санитарно-бактериологические показатели* включают: определение общего числа аэробных сапрофитов (микробное число), бактерий группы кишечной палочки и анализ на яйца гельминтов.

*Микробное число* оценивает общую обсемененность сточных вод микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органиче-

скими веществами - источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах  $10^6$  -  $10^8$ .

В бытовых сточных водах содержатся загрязнения минерального и органического происхождения. Те и другие находятся в нерастворенном, растворенном и коллоидном состояниях. В городах расход бытовых вод с 1 га площади кварталов обычно равен 0,3-2 л/с (удельный расход) или 10000-60000 м<sup>3</sup>/год. В водоотводящую сеть они поступают сравнительно неравномерно и по часам суток и по суткам в году. В дневное время расход больше, чем в ночное, расходы по часам суток могут изменяться в 2-5 раз.

В течение года в отдельные сутки расходы бытовых вод изменяются незначительно, лишь в 1,1-1,2 раза.

Производственные сточные воды различных отраслей промышленности существенно отличаются как по составу загрязняющих веществ, так и по их концентрации.

В дождевых водах содержится значительное количество нерастворенных минеральных примесей, а также загрязнения органического происхождения. БПК дождевых вод достигает 50-60 мг/л. Дождевые воды могут являться источниками загрязнения водоемов. Расход дождевых вод с 1 га площади территории города достигает 150 л/с (1 раз в год) и 300 л/с (1 раз в 10 лет). Это в 50-300 раз больше расхода бытовых вод. В то же время общий расход дождевых вод за год составляет 1500-2000 м<sup>3</sup> с 1 га, т.е. в 5-30 раз меньше расхода бытовых вод. Образование дождевых вод происходит весьма неравномерно. Их расход изменяется от нуля (в сухую погоду) до максимального значения 300 л/с (в период выпадения интенсивных ливней).

Достаточно широко используется понятие «городские сточные воды». Под ним понимается смесь бытовых и производственных сточных вод. В реальных условиях в чистом виде бытовых вод не бывает. В сточных водах, поступающих от городов, всегда содержатся компоненты загрязнений, характерные для производственных сточных вод (нефтепродукты, кислоты, щелочи, соли и др.). При решении задач отвода и очистки городских сточных вод это необходимо учитывать.

Все указанные выше сточные воды требуют обязательной очистки при их отведении в открытые водоемы, так как в них содержатся различные загрязняющие вещества в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые.

Различная степень загрязнения сточных вод и природа их образования выдвигают при проектировании важную задачу совместного или отдельного отведения отдельных видов сточных вод, совместной или отдельной их очистки.

Физическая модель сточных вод представляет собой двухфазную систему «жидкое - твердое», и любая технология очистки вод заключается в извлечении твердой фазы.

Процессы очистки воды реализуются с использованием различных сложных процессов с заметными энергозатратами. Чем выше концентрация загрязнений и чем больше разнородность состава, тем больше энергетические затраты на очистку воды.

Разнородность состава загрязнений сточных вод и действующие явления диссипации при изменении энергетического состояния системы способствуют

тому, что стопроцентная очистка сточных вод невозможна, и поэтому она регламентируется значениями предельно допустимых концентраций (ПДК).

### 1.3 Элементы водоотводящих систем

Схемы водоотведения населенных пунктов разрабатывается на генплане городов в масштабе 1:5000-1:20000 с горизонталями через 1-2 м с указанием кварталов и проездов, схемы водоотведения промышленных предприятий - на генплане в масштабе 1:1000-1:5000 с горизонталями через 0,5-1 м. Система водоотведения состоит из следующих основных элементов:

- 1) внутренних водоотводящих сетей в зданиях, оснащенных санитарно-техническим оборудованием;
- 2) внутриквартальных водоотводящих сетей;
- 3) наружной водоотводящей сети;
- 4) аварийно-регулирующих резервуаров;
- 5) специальных сооружений;
- 6) насосных станций и напорных трубопроводов;
- 7) станций очистки сточных вод;
- 8) выпусков аварийных неочищенных потоков сточных вод.

Внутренняя водоотводящая сеть жилого дома состоит из приемников сточных вод (санитарных приборов) внутренней водоотводящей сети, которая включает водоотводящие линии, стояки и выпуски из здания.

Трубопроводы отводных линий прокладываются с уклоном к стоякам для обеспечения самотечного отвода воды. Трубопроводы стояков прокладываются вертикально; верхняя их часть возвышается над неэксплуатируемой кровлей на 0.3 м; над скатной кровлей - на 0.5 м; над эксплуатируемой кровлей - на 3 м. Выпуски - это участки трубопроводов от стояков до смотровых колодцев на внутриквартальной водоотводящей сети. Они, как и отводные линии, прокладываются с уклонами.

Внутренняя водоотводящая сеть трубопроводов рассчитывается на частичное заполнение труб водой даже при наибольших (расчетных) расходах сточной воды. Она одновременно служит для вентиляции всей внешней водоотводящей сети. При нормальных условиях работы через стояки осуществляется вытяжка газов. Для исключения попадания газов в помещения под санитарными приборами устанавливаются сифоны (гидравлические затворы). Они обычно представляют собой петлеобразные трубки, в которых постоянно задерживается водяной столб высотой 8-10 см. Иногда сифоны являются составной частью санитарных приборов. Для проверки и прочистки труб на сети устанавливаются специальные детали - ревизии и прочистки. Каждое здание имеет несколько стояков, которые обслуживают санитарные приборы, группирующиеся на каждом этаже здания.

Для отвода производственных сточных вод из здания также создается внутренняя водоотводящая сеть трубопроводов. Для отвода сравнительно больших расходов на первом этаже устраивают сеть подпольных лотков.

Для приема и отвода дождевых вод крыши зданий выполняются с учетом необходимости сбора и отвода воды к местам приемки ее в водосточную

сеть. Если крыши имеют сложную конфигурацию или они плоские, то сеть трубопроводов выполняется внутри зданий.

Вода во внутреннюю сеть принимается через водосточные воронки, устанавливаемые на крышах. Отвод воды из зданий может производиться либо непосредственно во внутриквартальную водоотводящую сеть, либо на поверхность земли. При невысоких зданиях и скатных крышах дождевая вода с крыши отводится водосточными трубами, а затем лотками проездов в дождеприемники.

Внутриквартальная водоотводящая сеть представляет собой систему подземных трубопроводов. Трассировка ее производится вдоль зданий между смотровыми колодцами по концам выпусков из зданий в направлении, совпадающем с уклоном поверхности земли. Соединение ее с внешней (уличной) сетью производится участками труб, называемых соединительными ветками. Внутриквартальная сеть трубопроводов рассчитывается на самотечное движение жидкости с частичным заполнением труб.

На участке от внутриквартальной до уличной сети в пределах квартала на расстоянии 1 - 1,5 м от красной линии (границы квартала) располагается контрольный колодец (КК), который служит для контроля за работой внутриквартальной сети и правильностью использования сетей водоотведения специальными организациями, эксплуатирующими внешние водоотводящие сети и очистные сооружения.

Аналогичные сети создаются на предприятиях. Они называются внутризаводскими (внутриплощадочными).

Внешняя водоотводящая сеть, называемая иногда уличной, представляет собой систему подземных трубопроводов, уложенных с уклоном в направлении движения воды. Она рассчитывается на самотечное движение жидкости с частичным или полным заполнением труб при расчетных условиях. В целях уменьшения глубины заложения трубопроводы должны трассироваться в направлении, совпадающем с уклоном поверхности земли.

При составлении схемы водоотводящей сети обслуживаемый объект разбивается на бассейны водоотведения. *Бассейн водоотведения* - часть территории обслуживаемого объекта, ограниченная линиями водоразделов и границами объекта. Внешняя водоотводящая сеть может быть разделена на уличную сеть, коллекторы бассейнов водоотведения и главные коллекторы. *Уличная сеть* - это трубопроводы, проложенные по части периметра квартала или по всему его периметру. К ней присоединяются внутриквартальные сети.

*Коллекторы бассейнов водоотведения* - трубопроводы, предназначенные для приема и отвода воды от части или целого бассейна водоотведения.

*Главные коллекторы* - трубопроводы, предназначенные для приема и отвода воды от части или всего обслуживаемого объекта. Главными коллекторами вода транспортируется к насосным станциям или очистным сооружениям.

Для осмотра трубопроводов, выполнения профилактических и ремонтных работ на водоотводящей сети предусматриваются смотровые колодцы и камеры. В местах пересечения самотечных трубопроводов с естественными препятствиями и подземными сооружениями строятся штольни или эстакады. Иногда пересечения выполняются в виде дюкера. Для приема в водоотводящую сеть дождевых

вод строятся дождеприемники, конструкция которых аналогична конструкции смотровых колодцев, но сверху они завершаются приемной решеткой. Обслуживаемый объект может иметь водоотводящую сеть, предназначенную для отвода сточных вод всех видов: бытовых, производственных и дождевых. В период интенсивных ливней загрязнение смеси транспортируемых сточных вод снижается. Это позволяет сбрасывать часть сточных вод в водоем без очистки. Для сброса воды на коллекторах, уложенных вдоль реки, создаются специальные сооружения - ливнеспуски.

*Аварийные и регулирующие резервуары* представляют собой специально оборудованные емкости, обеспечивающие аккумуляцию сточных вод в период максимального их притока.

Сброс или откачка воды из резервуаров производится в периоды снижения притока сточных вод самотеком или с использованием насосных станций.

При равнинном рельефе глубина заложения трубопроводов возрастает в зависимости от их длины. При глубине 6-8 м прокладка трубопроводов открытым способом затруднена, поэтому переходят на закрытые методы строительства или осуществляют перекачку сточных вод.

*Местные насосные станции* используют для подъема и перекачки воды от одного или группы зданий.

*Районные насосные станции* применяют для перекачки стоков от части или целого бассейна водоотведения.

*Главные насосные станции* перекачивают стоки на станцию очистки сточных вод части или всего обслуживаемого объекта. Для повышения надежности работы сооружений водоотведения напорные трубопроводы выполняют в две линии.

*Очистная станция* представляет собой комплекс сооружений для очистки сточных вод и обработки осадков. Удаление загрязнений из сточных вод достигается с помощью механических (на решетках, песколовках, первичных отстойниках), биохимических (на аэротенках или биофильтрах и вторичных отстойниках) и физико-химических процессов очистки воды. Заключительным этапом обработки сточных вод перед сбросом в открытый водоем обычно является *обеззараживание*. При проектировании сооружений станции очистки сточных вод предусматривается самотечное движение воды.

### 1.3 Системы водоотведения городов

*Система водоотведения* - это технологический прием объединения или разъединения потоков сточных вод различного происхождения.

*Общесплавная система водоотведения* предусматривает отвод за пределы населенного пункта или предприятия сточных вод всех трех категорий и имеет единую водоотводящую сеть для отведения бытовых, производственных и дождевых вод. Общесплавные системы применяются при наличии рядом с обслуживаемым объектом мощных проточных водоемов, обладающих значительной самоочищающей способностью. Особенностью этой системы является оснащение главного коллектора ливнеспуском для сброса смеси сточных вод в водоем без очистки.

Общесплавная система водоотведения обеспечивает удовлетворительное санитарное состояние селитебной и промышленной зоны обслуживаемых объектов. Однако при устройстве такой системы отмечаются отсутствие биологического равновесия в водоприемнике, значительные колебания состава и концентрации загрязнений, усложняется эксплуатация насосных и очистных сооружений вследствие неравномерного притока дождевых вод.

Полная раздельная система водоотведения имеет несколько водоотводящих сетей, каждая из которых предназначена для отведения сточных вод определенного вида (Рис. 1.1).

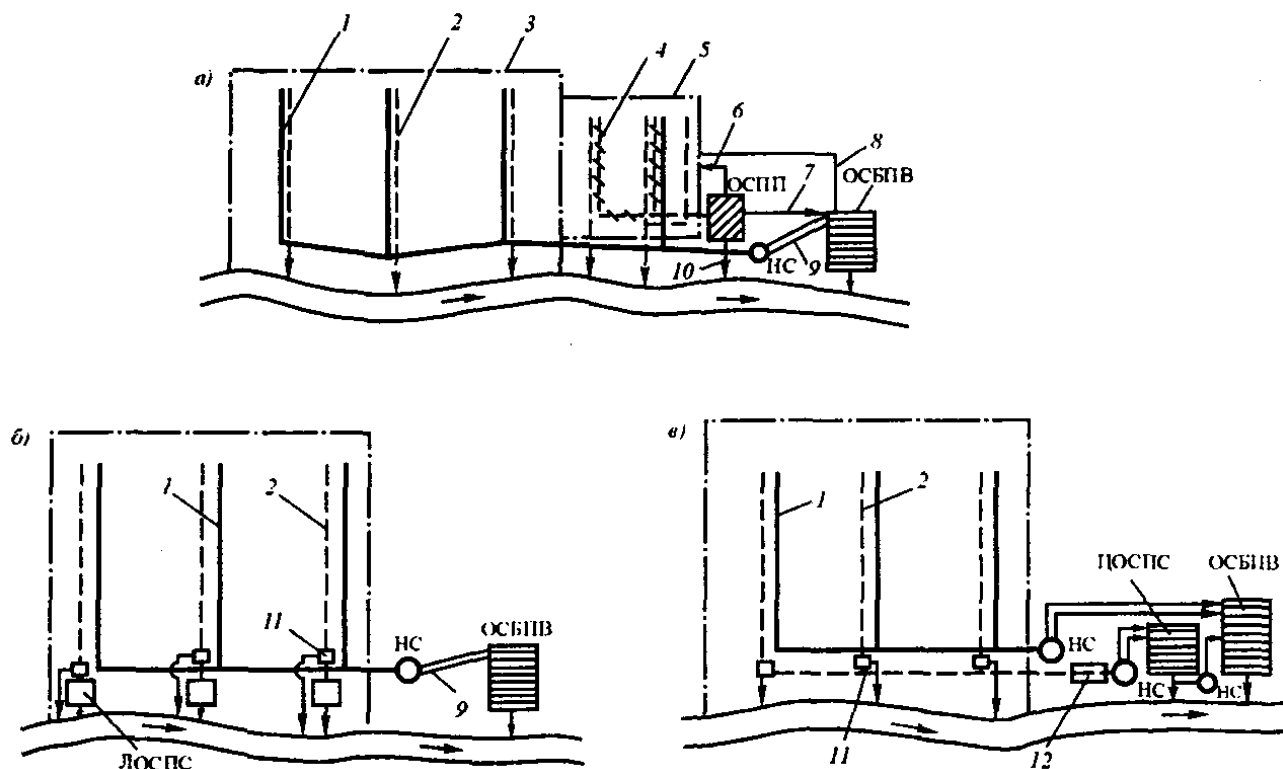


Рисунок 1.1 - Схемы полной раздельной системы водоотведения: а- без очистки поверхностного стока; б и в с очисткой поверхностного стока на локальных и централизованных очистных сооружениях; ОСПП – очистные сооружения промышленных предприятий; ЛОСПС - локальные очистные сооружения поверхностного стока; ЦОСПС – централизованные очистные сооружения поверхностного стока; 1 – бытовая сеть; 2 – ливневая сеть; 4 - производственная сеть; 5 – промышленное предприятие; 6 – возврат воды на производство после очистки; 7 – подача воды на очистные сооружения города; 8 – подача очищенных вод на промышленное предприятие; 9 – напорные трубопроводы; 10 – выпуск очищенных производственных сточных вод в водоем; 11 – разделительные камеры; 12 – регулирующий резервуар

Она имеет сети для отвода бытовых вод от города и промышленных предприятий - бытовая сеть, производственных вод - производственная сеть и дождевых вод - водостоки или дождевая сеть.

Наиболее сложными являются водоотведение и очистка сточных вод промышленных предприятий, так как состав и свойства сточных вод зависят от специфики водных технологических производственных процессов.



Для таких специфических потоков сточных вод выполняют отдельные водоотводящие сети и для них предусматривают специальные очистные сооружения.

Производственные сточные воды органогенного происхождения могут отводиться по бытовой сети без ограничений при соблюдении правил сброса их в общую городскую водоотводящую сеть. Так может быть решено водоотведение от молокозаводов, хлебозаводов и других аналогичных производств, при этом в необходимых случаях применяют частичную их очистку на заводских очистных сооружениях.

Специфические производственные стоки не органогенного происхождения требуют специфической технологии водоотведения, определенной степени очистки и повторно-оборотного использования или полной глубокой очистки с последующим сбросом в водоем. Такое направление оправдывается высоким экологическим эффектом и в ряде случаев простотой технологии обработки воды и сокращением энергозатрат.

При разработке системы водоотведения городов и промышленных предприятий необходимо учитывать:

- возможность сокращения объемов загрязненных сточных вод за счет устройства замкнутых систем;

- возможность последовательного использования воды в различных технологических процессах с нормативными требованиями к ее качеству;

- необходимость очистки наиболее загрязненной части поверхностного стока, образующегося в период выпадения дождей, таяния снега и мойки дорожных покрытий в количестве 70 % годового стока для селитебных территорий и всего объема стока для площадок предприятий, имеющих выбросы токсичных органических веществ.

При полной раздельной системе водоотведения очистка поверхностного стока может быть реализована дифференцированно с созданием локальных очистных сооружений на дождевой сети или созданием централизованных очистных сооружений за пределами обслуживаемого объекта.

*Неполная раздельная система* водоотведения имеет одну водоотводящую сеть, состоящую из подземных трубопроводов и каналов, предназначенную для отведения смеси бытовых и производственных сточных вод на городские очистные сооружения. По этой производственно-бытовой сети отводится смесь, называемая городскими сточными водами. Отведение и сброс дождевых вод без очистки в водоем производится по открытым лоткам, кюветам и канавам. Обычно эта система применяется для небольших объектов и при дальнейшем улучшении благоустройства населенных мест развивается в полную раздельную систему водоотведения.

*Полураздельная система водоотведения* имеет две водоотводящие сети - производственно-бытовую и дождевую, в местах пересечения этих сетей устраиваются разделительные камеры (Рисунок 1.2).

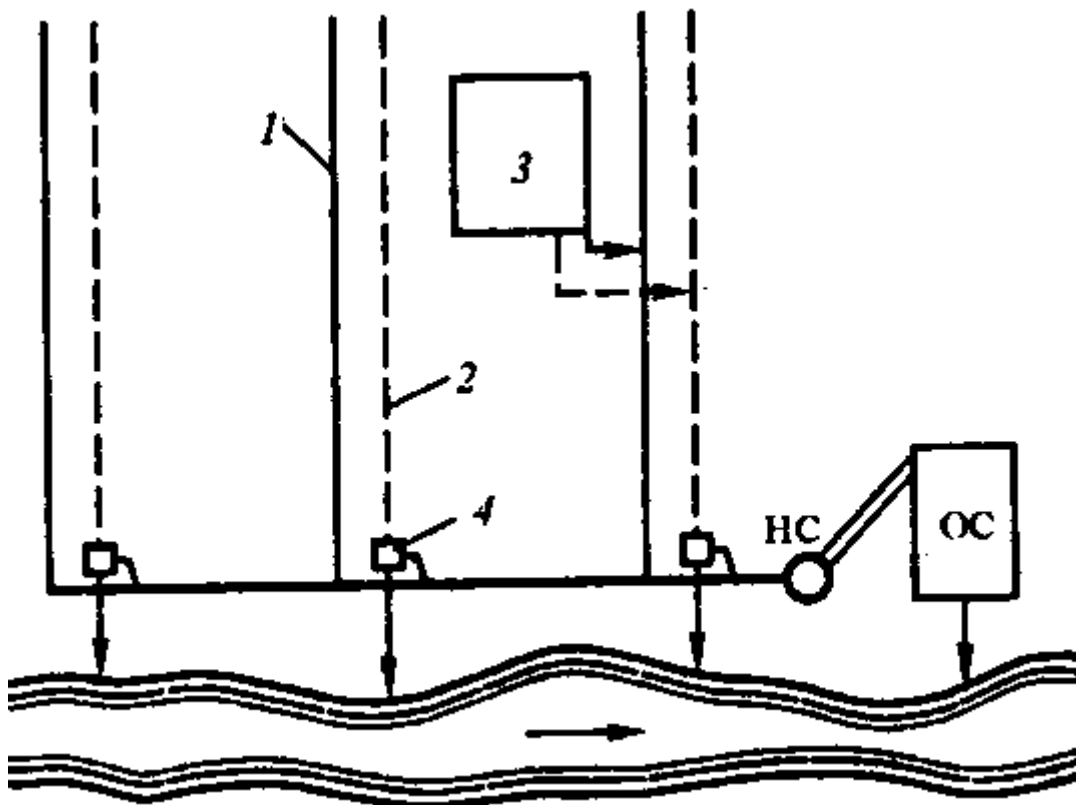


Рисунок 1.2 - Схема полураздельной системы водоотведения: 1 - производственно-бытовая сеть; 2 – ливневая сеть; 3 – промышленное предприятие; 4 - разделительные камеры

При малых расходах воды в дождевой сети камеры перепускают весь расход дождевых вод в главный общесплавной коллектор производственно-бытовой сети. При больших расходах камеры перепускают в производственно-бытовую сеть наиболее загрязненную часть воды, протекающей по трубам в донной части. Таким образом, на очистку направляются наиболее загрязненные дождевые воды, образующиеся в начальный период дождя, и донные слои воды, имеющие наиболее высокие концентрации загрязнений. При больших расходах воды в дождевой сети менее загрязненные дождевые воды отводятся в водоем без очистки.

*Комбинированная система водоотведения* обычно возникает исторически, в результате разной технической политики, реализуемой на различных этапах развития степени благоустройства города. При этом часть обслуживаемого объекта имеет общесплавную систему, а часть - полную раздельную. В силу происхождения комбинированные системы водоотведения занимают по санитарно-технической эффективности промежуточное положение.

Системы водоотведения промышленных предприятий также подразделяются на общесплавные и раздельные. Выбор системы водоотведения для предприятий весьма важен, так как на отдельных из них могут образовываться до 5 - 10 различных видов сточных вод, отличающихся по расходу, составу и свойствам содержащихся в них загрязнений.

При выборе системы водоотведения необходимо учитывать следующие возможности:

- совместной и раздельной очистки отдельных видов (от отдельных цехов)

СТОЧНЫХ ВОД;

- извлечения и использования ценных веществ, содержащихся в сточных водах;
- повторного использования производственных сточных вод без очистки или после частичной очистки в системе оборотного водоснабжения или для технических нужд другого цеха или производства;
- использования для производственных целей очищенных бытовых и дождевых вод;
- использования производственных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур.

Кроме того, необходимо учитывать мощность водоема, в который предполагается сброс очищенных сточных вод, количество воды в нем, вид водопользования и его самоочищающуюся способность.

*Общесплавную систему водоотведения* целесообразно применять для небольших промышленных предприятий (с малым расходом воды), если производственные сточные воды близки по составу к бытовым сточным водам и возможно попадание в дождевые воды загрязнении, характерных для производственных вод. Общесплавная система водоотведения имеет одну водоотводящую сеть. Производственные воды от всех цехов совместно с бытовыми и дождевыми водами по этой сети отводятся на единые очистные сооружения.

Раздельные системы водоотведения могут быть различными. Особенности их зависят от вида сточных вод, образующихся на предприятии.

*Раздельные системы водоотведения* могут иметь несколько водоотводящих сетей для отвода производственных сточных вод от отдельных цехов. Такие сети называются производственными. Их наименование дополняется словом, характеризующим основное загрязнение воды (например, производственные кислотосодержащие; производственные нефтесодержащие и т.д.). Бытовые и дождевые воды также отводятся по самостоятельным сетям, называемым бытовая сеть и дождевая сеть. При этом возможен совместный отвод нескольких видов сточных вод. Производственные сточные воды всего промышленного предприятия или отдельного цеха совместно с бытовыми водами отводятся *производственно-бытовой* сетью. Сеть, предназначенная для совместного отвода производственных и дождевых вод, называется *производственно-дождевой*.

*Раздельную систему водоотведения* с локальными очистными сооружениями целесообразно применять при различном характере загрязнений бытовых и производственных вод. В сточных водах отдельных цехов могут содержаться специфические загрязнения. Для очистки воды от них целесообразно устройство локальных очистных сооружений. Например, в сточных водах фабрик первичной обработки шерсти содержится много жира и волокна, которые обычно удаляются на локальных сооружениях и утилизируются. Последующая очистка этих сточных вод может производиться с очисткой общего стока фабрик.

*Раздельную систему водоотведения* с частичным оборотом производственных вод целесообразно применять при возможности оборотного использования некоторых производственных сточных вод с частичной очисткой или для водоснабжения (после охлаждения) некоторых цехов и производств.

*Раздельную систему водоотведения с полным оборотом* производственных вод целесообразно применять при большом расходе производственных сточных вод и небольшом расходе воды в реке.

Раздельные системы водоотведения с полным оборотом производственных и бытовых вод, а также всех сточных вод целесообразно применять при нехватке воды в реке для целей водоснабжения.

*Раздельная система водоотведения с полным оборотом* всех сточных вод называется *бессточной системой водопользования*, или замкнутой системой водного хозяйства промышленного предприятия. Создание таких систем водопользования должно обеспечить рациональное использование воды во всех технологических процессах, максимальную утилизацию компонентов сточных вод, нормальные санитарно-гигиенические условия работы обслуживающего персонала, исключение загрязнения окружающей природной среды, сокращение капитальных и эксплуатационных затрат. Рациональные системы использования воды должны разрабатываться на основе научно обоснованных требований к качеству воды, используемой в каждом технологическом процессе.

Названные системы водоотведения следует рассматривать как приближенные. В зависимости от конкретных условий на предприятиях возможно создание нескольких систем очистки с вариантами объединения различных видов сточных вод. Возможно создание и нескольких оборотных централизованных систем. В общем виде замкнутая система водопользования промышленного предприятия включает:

- локальные оборотные (замкнутые) системы;
- централизованные замкнутые системы;
- охлаждающие локальные (централизованные) оборотные (замкнутые) системы, а также системы последовательного использования воды в двух или нескольких технологических операциях с передачей воды из одной системы в другую.

При разработке раздельных систем водоотведения выбор схемы отведения и очистки поверхностного стока представляет собой сложную задачу, которая должна решаться на основе оценки технической возможности и экономической целесообразности следующих мер:

- локализации отдельных участков производственных территорий, где возможно попадание на поверхность специфических загрязнений, с отводом стока в производственную сеть;
- раздельного отведения стока с водосбросных площадок, отличающихся по характеру и количеству загрязнений территорий;
- самостоятельной очистки поверхностного стока;
- подачи поверхностного стока на общезаводские сооружения для совместной очистки с производственными сточными водами.

При очистке и использовании дождевых вод необходимо усреднять их по расходу (периодическое накопление в емкостях и последующее равномерное использование воды).

Поверхностный сток и бытовые сточные воды после соответствующей очистки в ближайшие годы смогут удовлетворить более 50% потребности про-

мышленности в воде. Радикальным решением проблемы охраны водных источников от загрязнения сточными водами являются разработка и внедрение бессточных систем водопользования.

При оценке систем водоотведения промышленных предприятий необходимо учитывать следующие коэффициенты использования воды:

$$\begin{aligned} \text{оборотной} \quad K_{об} &= q_{об} / (q_{об} + q_{св}); \\ \text{свежей} \quad K_{св} &= (q_{св} - q_{сб}) / q_{св}, \end{aligned}$$

$q_{об}$ ,  $q_{св}$  - расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , соответственно оборотной и свежей воды, забираемой из источника;  $q_{об} + q_{св}$  - общее количество расходуемой воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $q_{сб}$  - расход сточных вод, сбрасываемых в водоем,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

В последние годы наблюдается заметное увеличение оборота воды в промышленности. Коэффициент использования оборотной воды составляет: в черной и цветной металлургии - 0,8, на предприятиях химической промышленности - 0,83, на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности - около 0,65.

#### 1.4 Условия приема сточных вод в водоотводящие сети

При расположении промышленного предприятия в черте города или вблизи него, загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Для предотвращения нарушения технологического процесса биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, сбрасываемые воды должны удовлетворять определенным требованиям. Основные из них сводятся к следующему:

– производственные сточные воды не должны быть агрессивными по отношению к материалам водоотводящих сетей и сооружений, не должны содержать примеси такой крупности и такого удельного веса, которые могли бы засорять водоотводящую сеть города;

– в производственных сточных водах не должно быть горючих примесей - бензина, нефтепродуктов, эфиров, а также растворенных газообразных веществ, которые могли бы образовывать взрывоопасные смеси. При биологической очистке городских стоков концентрация нефтепродуктов не должна превышать допустимого предела для процесса биохимической очистки;

– температура смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод не должна превышать  $40^\circ\text{C}$ ;

– сбрасываемые в городскую водоотводящую сеть сточные воды не должны содержать бактерий, попадающих с продуктами выработки вакцин и сывороток;

– средние значения pH не должны превышать значений 6,5-7;

– производственные сточные воды, не отвечающие предъявляемым требованиям, подвергаются предварительной очистке на соответствующих локальных установках. Кроме того, предусматривается устройство гидравлических затворов в местах выпуска в городскую водоотводящую сеть.

Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть, представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2-Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть

Показатель состава и свойств сточных вод	Единица измерения	Предельно допустимая концентрация (ПДК)
Взвешенные вещества	мг/л	500
Зольность взвешенных веществ	%	30
БПК <sub>полн</sub>	мг/л	500
ХПК	мг/л	800
рН		6,5-8,5
Температура	°с	40
Порог цветности		1/16
Плотный остаток	мг/л	2000
Хлориды	мг/л	350
Сульфаты	мг/л	500
Эфирулавливаемые вещества	мг/л	20

Особое внимание уделяется производственным сточным водам, имеющим радиоактивные элементы. В водоотводящую сеть города не разрешается сброс таких стоков. Не разрешен также сброс биологически «жестких» поверхностно-активных веществ и СПАВ.

## 2 НОРМЫ, РЕЖИМЫ И РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

### 2.1 Нормы водоотведения. Коэффициенты неравномерности водоотведения

Расчет водоотводящих сетей состоит в определении диаметров и уклонов трубопроводов, обеспечивающих при наиболее благоприятных гидравлических условиях пропуск расходов сточных вод в любой момент времени. Поскольку самотечное движение сточных вод в энергетическом отношении является наивыгоднейшим, то основная задача при проектировании заключается в построении продольного профиля коллекторов, определяющего объемы земляных работ и положения водоотводящих трубопроводов в подземной части относительно других инженерных коммуникаций. Основой для определения диаметров трубопроводов является расчетный расход, зависящий от удельной нормы водоотведения бытовых вод от города - среднесуточной (за год) расход воды, л/сут, отводимой от одного человека.

Удельная норма водоотведения зависит от уровня санитарно-технического оборудования зданий и в определенной степени от климатических условий.

В таблице 2.1 показано влияние степени благоустройства зданий на величину удельного водоотведения.

Таблица 2.1-Удельное водоотведение бытовых сточных вод от города

Степень благоустройства жилых зданий	Удельное водоотведение, л/(чел.сут)
Жилые здания с внутренним водоснабжением и водоотведением:	
без ванн	125-160
с ваннами и местными водонагревателями	160-230
с централизованным горячим водоснабжением	230-350

В отдельных микрорайонах в зданиях с повышенным комфортом удельные нормы достигают 500-1000 л/(чел.сут). Российский опыт показывает, что обычно удельное водоотведение равно удельному водопотреблению. Действие рыночных отношений в коммунальном хозяйстве влияют на удельное водоотведение, поэтому его следует постоянно изучать и уточнять.

Удельное водоотведение бытовых вод промышленных предприятий приведено в таблице 2.2.

Расходы воды от душей и ножных ванн определяются по часовым расходам воды:

- на одну душевую сетку - 500 л/ч;
- на одну ножную ванну со смесителем - 250 л/ч.

Продолжительность водной процедуры для душа равна 8 мин., для ванны - 16 мин. Продолжительность пользования душем и ванной на предприятии равна 45 мин. с равномерным водопотреблением и водоотведением.

Таблица 2.2-Удельное водоотведение бытовых вод от промышленных предприятий

Цехи	Удельное водоотведение, л/(чел.сут)	Коэффициент часовой неравномерности, Кб
Горячие (с тепловыделением более 80 кДж/(ч-м <sup>3</sup> ))	45	2,5
Холодные	25	3

Удельное водоотведение производственных сточных вод - это количество воды в м<sup>3</sup>, отводимое на единицу выпускаемой продукции. Величина удельного водоотведения зависит от вида производства и степени совершенства водной технологии. Самые совершенные - непрерывные производственные процессы с повторно-оборотным использованием воды имеют самые низкие значения удельного водоотведения.

В период дождей и снеготаяния наблюдается значительное поступление в водоотводящую сеть дождевых и талых вод. В связи с этим возникла необходимость проведения проверочных расчетов водоотводящих сетей на пропуск максимального расхода с учетом дополнительного притока дождевых и талых вод. Дополнительный расход  $q_d$ , л/с, следует определять на основании данных эксплуатации, а при их отсутствии по формуле:

$$q_d = 0,15L\sqrt{m_d}, \text{ л/с,}$$

$L$  - общая длина водоотводящей сети, км;  $m_d$  - максимальное суточное количество осадков, мм.

Надежный прием и отведение сточных вод в указанный выше период может быть обеспечен снижением расчетного наполнения коллекторов до  $h/d = 0,7$ , что естественно удорожает строительство водоотводящих сетей. Технология зарегулирования притока сточных вод реализуется с использованием аварийно-регулирующих резервуаров, позволяющих значительно снизить пиковую гидравлическую нагрузку на основные сооружения водоотведения, снизить величину коэффициента неравномерности поступления стоков на насосные станции и очистные сооружения, что существенно повышает стабильность их работы.

*Коэффициенты неравномерности.* Приток сточных вод колеблется по суткам в пределах года и по часам суток.

Коэффициент суточной неравномерности поступления сточных вод

$$K_1 = Q_1/Q_2,$$

$Q_1$ ,  $Q_2$  - максимальный и средний суточный расход за год.

Коэффициент суточной неравномерности используют при анализе колебаний бытовых сточных вод от города. В зависимости от местных условий он равен 1,1-1,3.



Коэффициент часовой неравномерности:

$$K_2 = q_1/q_2,$$

$q_1, q_2$  — максимальный и средний часовые расходы в сутки с максимальным водоотведением.

Общий коэффициент неравномерности есть отношение максимального часового расхода в сутки с максимальным поступлением сточных вод к среднечасовому расходу в сутки со средним водоотведением.

Общий максимальный коэффициент неравномерности:

$$K = K_1 K_2.$$

Общий максимальный коэффициент неравномерности имеет вид

$$K = (24q_1/24q)(q_1/q_2)$$

или

$$K = q_1/q,$$

$q$  - среднечасовой расход в сутки со средним поступлением сточных вод.

Для надежности действия сооружений водоотведения необходимо знать минимальные расходы, то есть значения общего минимального коэффициента неравномерности

$$K_m = q_m/q$$

$q_m$  — минимальный часовой расход в сутки с минимальным водоотведением.

В таблице 2.3 приведены значения коэффициентов неравномерности в зависимости от среднесекундного расхода, с помощью которых вычисляют значения расчетных максимальных и минимальных расходов сточных вод.

Приток бытовых вод от промышленных предприятий характеризуется максимальным коэффициентом часовой неравномерности  $K_6$

$$K_6 = q_{\max}/q_{\text{mid}}$$

$q_{\max}$  и  $q_{\text{mid}}$  максимальный и средний расходы в час за смену.

Таблица 2.3 - Общие коэффициенты неравномерности притока бытовых вод от города

Средний расход сточных вод, л/с	Общий коэффициент неравномерности	
	$K$	$K_m$
5	2,5	0,38
10	2,1	0,45
20	1,9	0,5

50	1,7	0,55
100	1,6	0,59
300	1,55	0,62
500	1,5	0,66
1000	1,47	0,69
5000 и более	1,44	0,71

Примечания:

1. Общие коэффициенты неравномерности притока сточных вод допускается принимать при количестве производственных сточных вод, не превышающих 45 % общего расхода.

2. При промежуточном значении среднего расхода сточных вод общие коэффициенты неравномерности следует определять интерполяцией.

3. Для начальных участков сети, где средний расход менее 5 л/с действует правило для безрасчетных участков, на которых принимают минимально допустимые диаметры и уклоны труб.

4. При более значительном количестве производственных сточных вод, чем указано в примечании 1, расчетные расходы устанавливают по графикам и таблицам суммарного притока сточных вод от города и промышленного предприятия по часам суток.

Коэффициент часовой неравномерности притока бытовых сточных вод практически одинаков для различных отраслей промышленности.

Рекомендуемые значения  $K_6$  приведены в таблице 2.4, где показан режим отведения бытовых вод от промышленного предприятия по часам смены.

Таблица 2.4-Режим отведения бытовых вод промышленного предприятия

Часы смены	Холодный цех, 25 л/(см-чел)		Горячий цех, 45 л/(см-чел)	
	Значение $K_6$ при $K_{б.х.}=3$	Расходы в %	Значение $K_6$ при $K_{6.г.}=2,5$	Расходы в %
0-1	1	12,5	1	12,5
1-2	0,625	6,2	0,6	7,5
2-3	0,625	6,2	0,6	7,5
3-4	0,625	6,2	0,6	7,5
4-5	1,5	18,75	1,5	18,75
5-6	0,625	6,2	0,6	7,5
6-7	0,625	6,2	0,6	7,5
7-8	3	37,5	2,5	31,25
Всего за смену		100		100

## 2.2 Расчетные расходы бытовых и производственных сточных вод

Под расчетным расходом подразумевается расход, являющийся лимитирующим при расчете сооружений водоотведения.

Для расчета водоотводящих сооружений используются средние и максимальные суточный, часовой и секундный расходы.

Расчетные расходы бытовых вод от города определяют по следующим формулам:

средний суточный:

$$Q_2 = q_6 N / 1000, \text{ м}^3/\text{сут.}$$

максимальный суточный:

$$Q_1 = (q_6 N / 1000) \cdot K_1, \text{ м}^3/\text{сут.};$$

средний часовой:

$$q = q_6 N / (1000 \cdot 24),$$

максимальный часовой:

$$q_1 = q K_2, \text{ м}^3/\text{ч.};$$

средний секундный:

$$q_{\text{mid.s}} = q \cdot N / (24 \cdot 3600), \text{ л/с.};$$

максимальный секундный:

$$q_{\text{max.s}} = q_{\text{mid.s}} K, \text{ л/с.},$$

$q_6$  - удельное водоотведение бытовых вод, л/(чел-сут);  $N$  - расчетное население.

Максимальный секундный расход удобно определять по формуле

$$q_{\text{max.s}} = q_0 F K,$$

$F$  - селитебная площадь кварталов, га;  $q_0$  - модуль стока, л/(с га) - обобщенный показатель расхода с единицы площади жилых кварталов, определяемый по формуле

$$q_0 = q_6 \cdot P / 24 \cdot 3600,$$

$P$  - плотность населения, чел/га.

Нормами водоотведения бытовых вод от города не учитываются расходы воды, поступающие от домов отдыха, санаториев, профилакториев и

др. Эти расходы воды определяются и учитываются отдельно.

Расчетные расходы бытовых вод от промышленных предприятий определяются по формулам:

$$Q_{\text{mid}} = (25N_1 + 45N_2)/1000, \text{ м}^3/\text{сут},$$

$$Q_{\text{max.cm}} = (25N_3 + 45N_4)/1000, \text{ м}^3/\text{сут},$$

$$q_{\text{max.s}} = (25N_3K_{6x} + 45N_4K_{6r})/t \cdot 3600, \text{ л/с},$$

$N_1$  и  $N_2$  - число работающих в сутки при удельном водоотведении соответственно в холодных и горячих цехах 25 и 45 л/см (см. таблицу 3.4);  $N_3$  и  $N_4$  - то же, в смену с максимальным числом работающих при удельном водоотведении соответственно 25 и 45 л/см на одного работающего;  $Q_{\text{mid}}$  - среднесуточный расход;  $Q_{\text{max.cm}}$  - расход в смену с максимальным числом работающих;  $K_{6x}=3$  и  $K_{6r}=2,5$  - коэффициенты часовой неравномерности при удельном водоотведении соответственно 25 и 45 л/см на одного работающего;  $t$  - продолжительность смены, ч.

Расчетные расходы душевых вод с учетом их равномерного образования в течение 45 минут последнего часа смены можно определять по формулам:

$$Q_{\text{max.cm}} = q_{\text{д.с.}} \cdot m_{\text{д}} \cdot 45/1000 \cdot 60, \text{ м}^3/\text{см}$$

$$Q_{\text{см}} = (q_{\text{д.с.}} \cdot m_{\text{д}} \cdot 45/1000 \cdot 60) \cdot (N_{\text{см}}/N_{\text{max}}), \text{ м}^3/\text{см}$$

$$q_{\text{max.s}} = q_{\text{д.с.}} \cdot m_{\text{д}}/3600, \text{ л/с}$$

$q_{\text{д.с.}}$  - расход воды через одну душевую сетку, равный 500 л/ч;  $m_{\text{д}}$  - число душевых сеток;  $N_{\text{см}}$  и  $N_{\text{max}}$  — число рабочих, пользующихся душем, соответственно, в рассчитываемую и максимальную смены; 45 - продолжительность работы душа в последний час смены, мин.

Число душевых сеток:

$$m_{\text{д}} = N_{\text{max}} \cdot t_{\text{п}}/t_{\text{д}}, \text{ шт.}$$

$t_{\text{п}} = 9$  - продолжительность водной процедуры одним пользующимся душем, мин;  $t_{\text{д}} = 45$  - продолжительность работы душа, мин.

Расход душевых вод можно определить по формулам:

$$Q_{\text{mid}} = (40N_5 + 60N_6)/1000, \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q_{\text{max.cm}} = (40N_7 + 60N_8)/1000, \text{ м}^3/\text{см};$$

$$q_{\max..s} = (40N_7 + 60N_8) / (45 \cdot 60), \text{ л/с};$$

$N_5$  и  $N_7$  — число пользователей душем в холодных и горячих цехах с удельной нормой 40 л/чел;  $N_6$  и  $N_8$  — то же в горячих цехах с удельной нормой 60 л/чел.

Расчетные расходы производственных сточных вод определяют по формулам:

$$Q_{\text{mid}} = q_{\text{п}} M, \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q_{\text{max.cm}} = q_{\text{п}} M_{\text{max}}, \text{ м}^3/\text{см};$$

$$q_{\text{max.s}} = q_{\text{п}} M_{\text{max}} K_{\text{п}} / (t \cdot 3,6), \text{ л/с},$$

$q_{\text{п}}$  - удельное водоотведение производственных сточных вод,  $\text{м}^3$ , на единицу выпускаемой продукции;  $M$  и  $M_{\text{max}}$  - количество выпускаемой продукции, соответственно, в сутки и смену с наибольшей производительностью;  $K_{\text{п}}$  - коэффициент часовой неравномерности;  $t$  - продолжительность смены (технологического процесса), ч.

Коэффициент часовой неравномерности притока производственных сточных вод  $K_{\text{п}}$  зависит от отрасли промышленности, вида выпускаемой продукции и степени совершенства технологического процесса.

Расчет, выполненный по вышеизложенным формулам, позволяет установить экстремальные часовые расходы сточных вод и расходы за другое время.

Для удобства расчетов водоотводящих сооружений полученные результаты определения расходов целесообразно сводить в ведомости. Форма сводной ведомости приведена в таблице 2.5.

Режим водоотведения сточных вод по часам суток. Распределение расхода сточных вод по часам суток удобно представлять в виде ступенчатого графика (рисунок 2.5). По оси абсцисс откладывается время суток, а по оси ординат - часовые расходы в  $\text{м}^3$  или в % от суточного расхода.

Таблица 2.5-Сводная ведомость суммарных расходов сточных вод

Обслуживаемый объект	Расходы сточных вод					
	Среднесуточные, м <sup>3</sup> /сут		Максимальные часовые, м <sup>3</sup> /ч		Максимальные секундные, л/с	
	Бытовых и душевых	Производственных	Бытовых и душевых	Производственных	Бытовых и душевых	Производственных
Город						
Промышленное предприятие						
Всего						

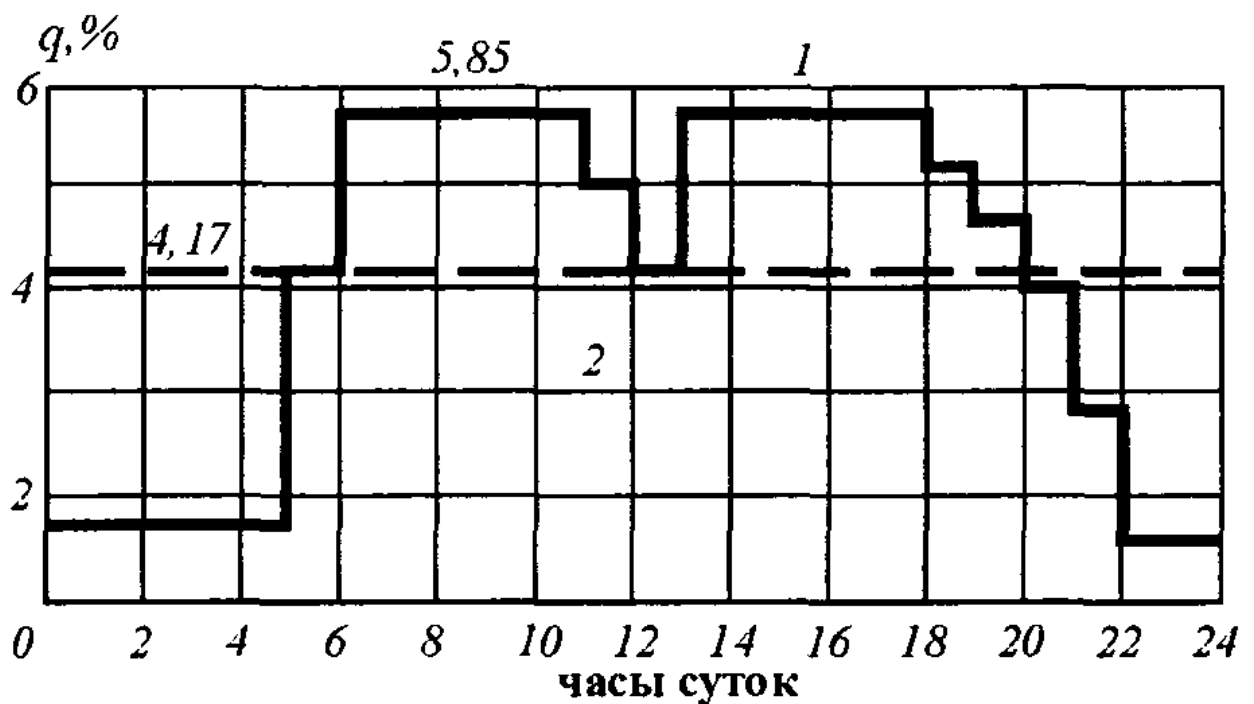


Рисунок 2.5 - Ступенчатый график притока сточных вод: 1 - реальный приток; 2 - равномерный приток

Такие графики наглядны и более точны, если строятся при заполнении суммарной таблицы притока сточных вод от города и промышленных предприятий, с учетом распределения бытовых и производственных сточных вод от промышленного предприятия по часам смены.

*Расчетные участки* трубопроводов и коллекторов - это отдельные расчетные участки, в пределах которых расход считают условно постоянным.

При расчете насосных станций, аварийно - регулирующих резервуаров и очистных сооружений необходимо иметь распределение суточных и сменных расходов по часам суток и смен.

Суммарные расходы сточных вод в отдельные часы суток получают путем составления суммарной таблицы притока сточных вод, таблица 2.6.

Таблица 2.6-Суммарная таблица притока сточных вод от города и промышленных предприятий

Часы суток	Бытовые воды от города		Воды от промышленного предприятия №1				Суммарные расходы	
	%	м <sup>3</sup>	Бытовые		Душевые м <sup>3</sup>	Производственные		
			%	м <sup>3</sup>		%	м <sup>3</sup>	
0-1								
1-2								
...								
...								
23-24								
Всего	100		100			100		100

Максимальный часовой расход по таблице 2.6 будет меньше суммы максимальных расходов отдельных видов сточных вод, получаемый с помощью таблицы 2.5, так как пиковые расходы не совпадают по времени.

Расчет с использованием таблицы 2.6 исключает запас и этот расход ближе к действительному.

В значениях удельного водоотведения бытовых вод учтены расходы не только от жилых домов, но и от административных зданий и коммунально-бытовых предприятий. Для района, где расположены административные здания и коммунальные предприятия, модуль стока следует определять без учета расходов воды от указанных выше объектов по формуле

$$q_0 = \frac{(Q_{mid} - \sum Q_c) \cdot 1000}{\sum F \cdot 86400}, \text{ л/(сга)}$$

$Q_{mid}$  - среднесуточный расход сточных вод от рассматриваемого района водоотведения, м<sup>3</sup>/сут, с суммарной площадью кварталов  $\sum F$ , га;  $\sum Q_c$  - сумма сосредоточенных расходов от объектов нежилого назначения, м<sup>3</sup>/сут.

Удельное водоотведение без учета расходов от нежилых объектов  $q'_0$  может быть определено по формуле

$$q'_0 = q_0 - \frac{\sum Q_c \cdot 1000}{\sum F \cdot P}, \text{ л/(чел.сут)}$$

### 3 НАРУЖНЫЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ

#### 3.1. Схемы водоотводящих сетей

Схемой водоотводящей сети называют проектное решение принятой системы водоотведения, изображенной на генплане канализуемого объекта с учетом местных топографических и гидрогеологических условий и перспектив дальнейшего развития. Начертание схемы водоотведения на генплане зависит от рельефа местности, так как наиболее технологично транспортировать сточные воды по трубопроводам в самотечном режиме. Главные водоотводящие коллекторы направляются за пределы города ниже по течению проточного водоема на расстояние, предусмотренное правилами санитарной зоны разрыва. В зависимости от основных факторов схемы водоотводящих сетей могут подразделяться на несколько видов.

*Перпендикулярная (децентрализованная) схема* (рисунок 3.1) - коллекторы бассейнов водоотведения прокладываются перпендикулярно горизонталям и перпендикулярно направлению потока воды водоема. По такой схеме выполняют водосточную сеть при полной раздельной системе водоотведения. При этом дождевые воды децентрализованно сбрасываются в водоем без очистки или с очисткой.

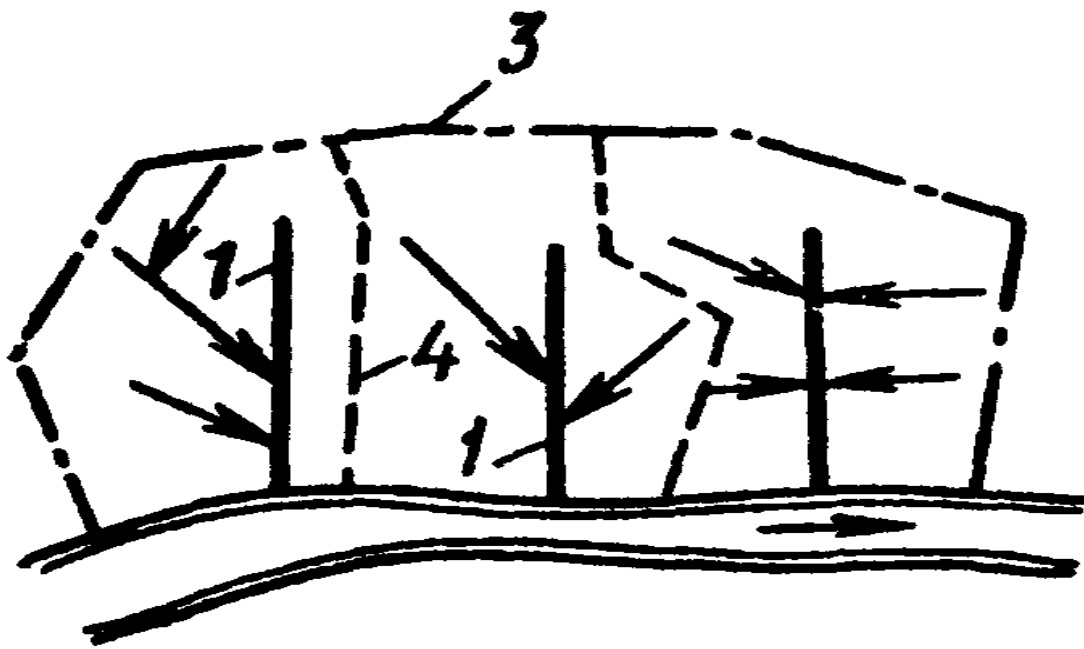


Рисунок 3.1- Схема перпендикулярной водоотводящей сети: 1 - коллекторы бассейнов водоотведения; 2 - главные коллекторы; 3 - граница обслуживаемого объекта; 4 - граница бассейнов водоотведения;

*Пересеченная (централизованная) схема* (рисунок 3.2) - коллекторы бассейнов водоотведения пересекаются главным коллектором, расположенным параллельно реке. Эта схема применяется для отведения сточных вод, требующих обязательной очистки. Они используются при полной раздельной системе водоотведения для городских сточных вод.

*Параллельная (веерная централизованная) схема* (рисунок 3.3) - коллекторы



бассейнов водоотведения направляются параллельно или под небольшим углом к направлению потока воды в водоеме и пересекаются с главным коллектором, транспортирующим сточные воды к очистным сооружениям.

Эту схему применяют при резком падении рельефа местности к водоему. Она позволяет исключить в коллекторах бассейнов водоотведения повышенные скорости движения воды, вызывающие абразивный износ трубопроводов.

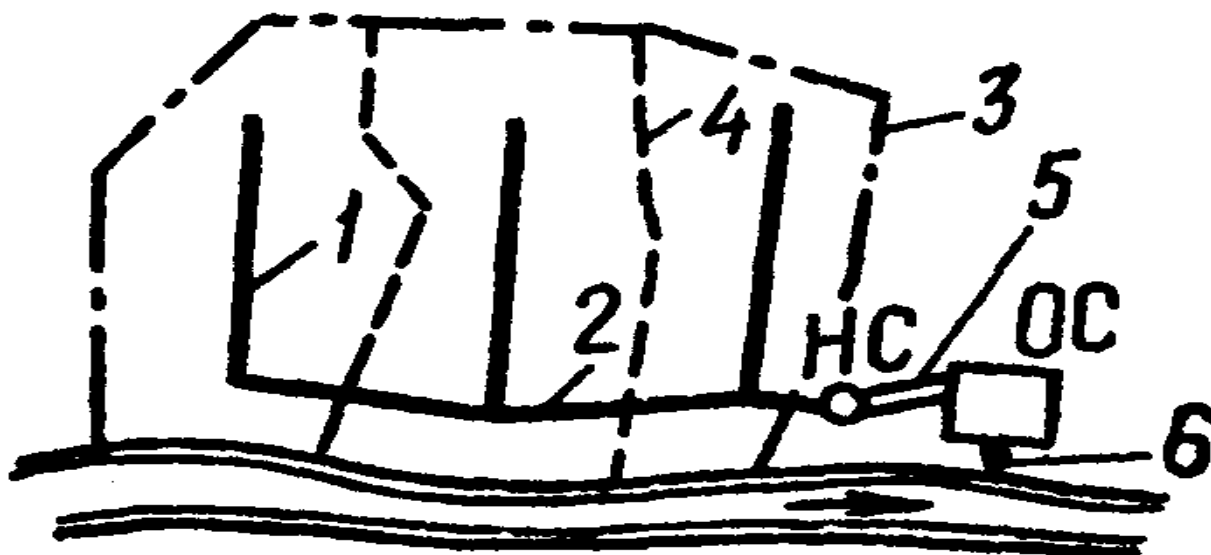


Рисунок 3.2 - Схема пересеченной водоотводящей сети: 1 - коллекторы бассейнов водоотведения; 2 - главные коллекторы; 3 - граница обслуживаемого объекта; 4 - граница бассейнов водоотведения; 5 - напорный трубопровод; 6 - выпуск;

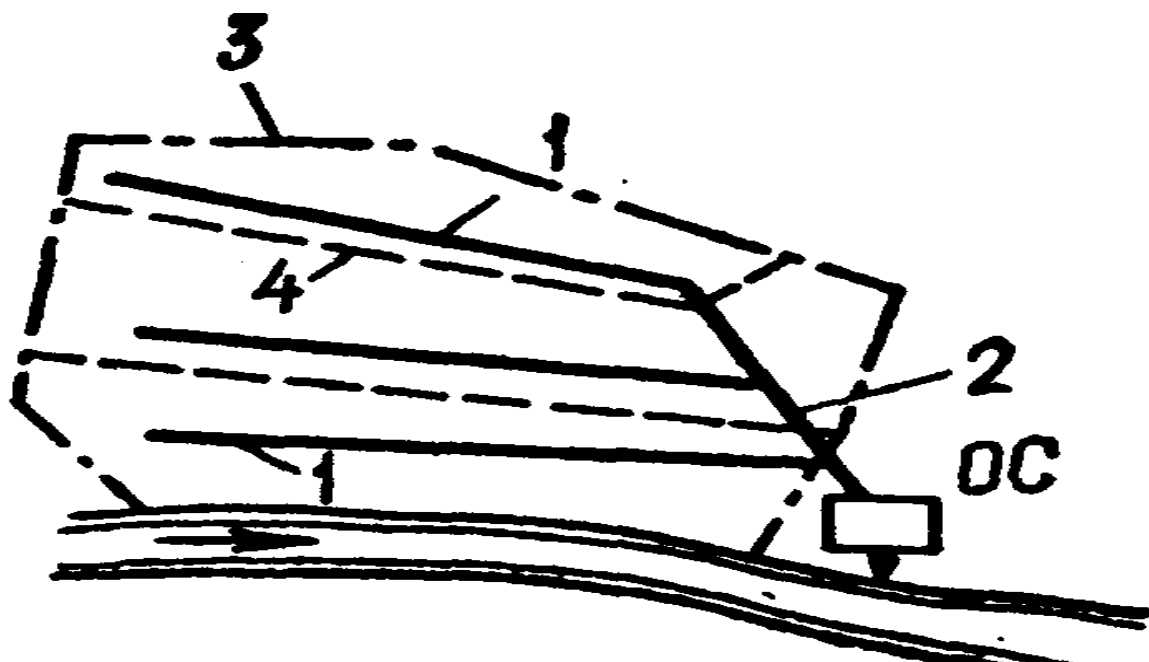


Рисунок 3.3- Схема параллельной водоотводящей сети: 1 - коллекторы бассейнов водоотведения; 2 - главные коллекторы; 3 - граница обслуживаемого объекта; 4 - граница бассейнов водоотведения;

*Зонная схема (централизованная)* (рисунок 3.4) — обслуживаемая территория разбивается на две зоны: с верхней сточные воды отводятся к очистным сооружениям самотеком, а с нижней они перекачиваются насосной станцией. Эта схема наименее энергоемка и поэтому при разработке схемы водоотведения города желательна проработка таких вариантов.

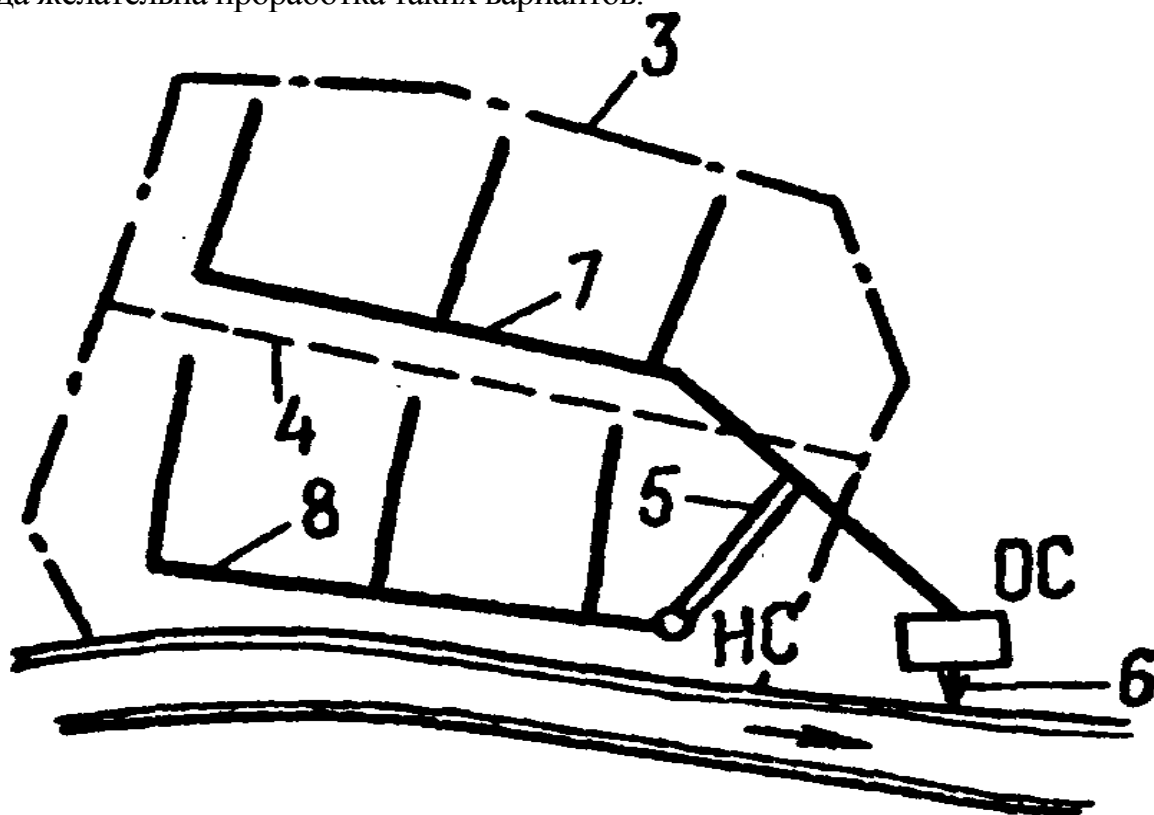


Рисунок 3.4 - Схема зонной водоотводящей сети: 1 - коллекторы бассейнов водоотведения; 3 - граница обслуживаемого объекта; 4 - граница бассейнов водоотведения; 5 - напорный трубопровод; 6 - выпуск; 7 и 8 - главные коллекторы соответственно верхней и нижней зон

*Радиальная (децентрализованная) схема* (рисунок 3.5) - отведение сточных вод реализуется на несколько очистных станций. Радиальную схему водоотведения применяют при сложном рельефе местности и в больших городах.

Разработку схемы водоотводящих сетей начинают с изучения топографических и гидрогеологических материалов объекта обслуживания, определения границ бассейнов водоотведения, места расположения очистных сооружений и насосных станций. Основным принцип заключается в максимальном использовании рельефа местности, и направление коллекторов по ходу движения воды должно совпадать с уклоном поверхности земли. Поэтому коллекторы бассейнов водоотведения обычно проходят по тальвегам, а главные коллекторы по берегам рек. Так как очистные сооружения располагаются ниже по течению реки относительно обслуживаемого объекта, то и направление главного коллектора совпадает с направлением течения воды в реке. Возможность самотечного или напорного отведения сточных вод устанавливается при построении продольного профиля главного коллектора. Ориентировочное место расположения насосной станции перекачки намечается в пониженных местах или в конечной части коллекторов и окончательно определяется после сравнения вариантов.

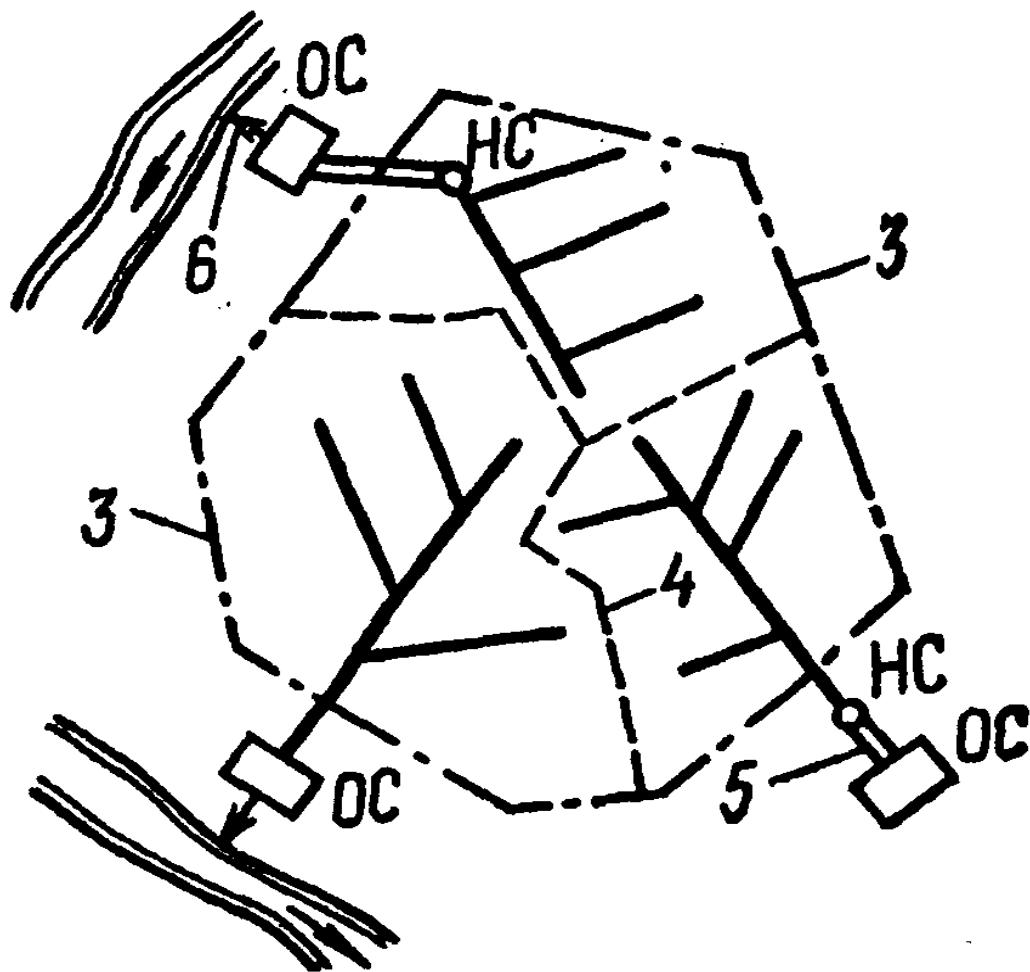


Рисунок 3.5 - Схема радиальной водоотводящей сети: 1 - коллекторы бассейнов водоотведения; 2 - главные коллекторы; 3 - граница обслуживаемого объекта; 4 - граница бассейнов водоотведения; 5 - напорный трубопровод; 6 - выпуск;

Заключительный этап - трассировка уличных трубопроводов, обеспечивающих отведение воды от каждого квартала застройки. Основной принцип трассировки диктуется необходимостью обеспечения минимального объема земляных работ, что достигается укладкой труб на наименьшей возможной глубине с максимальным использованием рельефа местности.

### 3.2 Трассировка уличной сети

Трассировка уличных трубопроводов возможна по трем следующим схемам.

*Объемлющая трассировка* (рисунок 3.6) - уличные трубопроводы прокладывают со всех сторон квартала. Эту трассировку применяют при слабовыраженном уклоне местности  $i_0 < 0,005$ ) для больших кварталов и при отсутствии внутри них застройки.

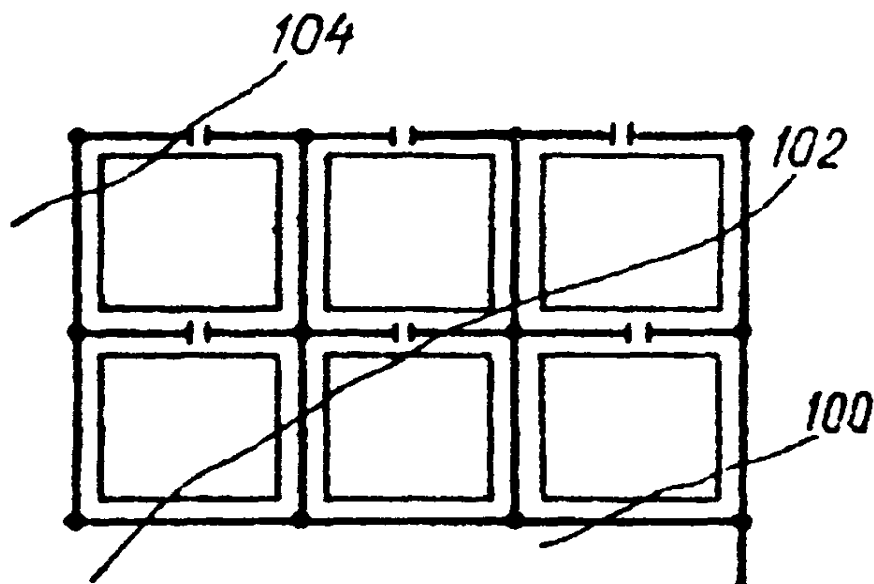


Рисунок 3.6 – Схема объемлющей трассировки

*Трассировка по пониженной стороне квартала* (рисунок 3.7) - уличные трубопроводы прокладывают лишь с пониженных сторон квартала. Эту трассировку применяют при выраженном рельефе местности  $i > 0,007$ ) и небольших кварталах.

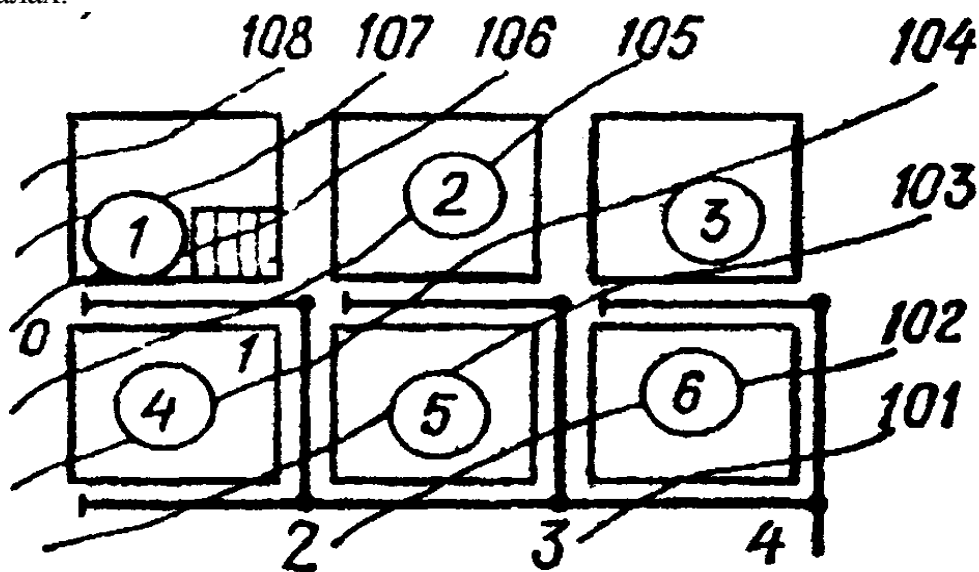


Рисунок 3.7 –Схема трассировки по пониженной стороне квартала

*Черезквартальная трассировка* (рисунок 3.8) - трубопроводы прокладывают внутри квартала, что при детальной планировке жилых кварталов сокращает общую протяженность сети. Преимущества этой трассировки заключаются в том, что трубопроводы пересекают проезды на отдельных коротких участках, не загромождая подземную часть, насыщенную другими инженерными коммуникациями. Пересечения трубопроводов с городскими инженерными сооружениями (железными дорогами, автотрассами) и естественными препятствиями (реками, оврагами) представляют собой сложные участки, на которых трудно обеспечить надежность работы системы водоотведения. Поэтому таких пересечений следует избегать и сводить их к минимуму.

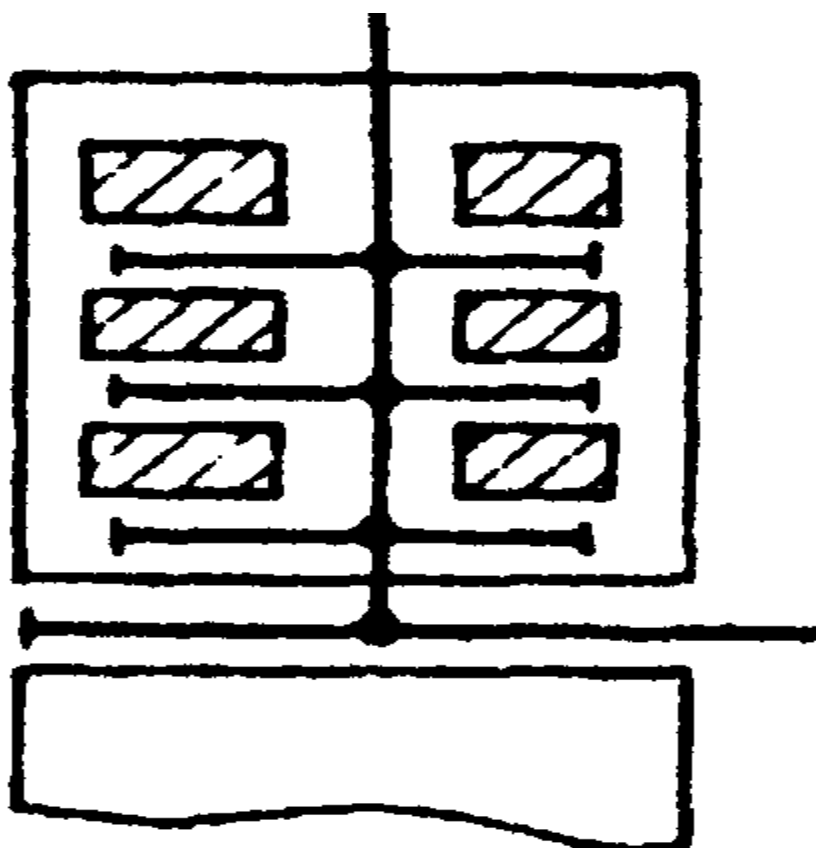


Рисунок 3.8 -Схема чрезквартальной трассировки

Рассмотренные выше правила трассировки и разработки схем водоотводящих сетей эффективны при открытом способе производства работ по прокладке трубопроводов до глубины 6 - 8 м.

### 3.3 Глубина заложения трубопроводов. Расположение трубопроводов в поперечном профиле улиц

Минимальная глубина заложения трубопроводов принимается исходя из следующих трех условий:

- 1) исключение промерзания труб;
- 2) исключение механического разрушения труб под действием внешних нагрузок;
- 3) обеспечение самотечного присоединения к трубопроводам внутриквартальных сетей и боковых веток.

Температура сточных вод в зимнее время не снижается ниже 10°C. Поэтому оказывается возможным прокладывать трубопроводы на глубине, меньшей глубины промерзания грунта (рисунок 3.9). Благодаря большой теплоемкости воды вокруг трубы образуется зона талого грунта, которая примыкает к нижней зоне непромерзающего грунта, поэтому трубопровод не промерзает и не разрушается.

При отсутствии данных по опыту эксплуатации минимальная глубина может приниматься равной

$$h'_{\min} = h_{\text{пр}} - a$$

$h_{\text{пр}}$  - глубина промерзания грунта;  $a$  - величина, зависящая от диаметра тру-

бопровода, значение которой рекомендуется принимать равными: 0,3 м - при диаметре до 500 мм и 0,5 м - при большем диаметре.

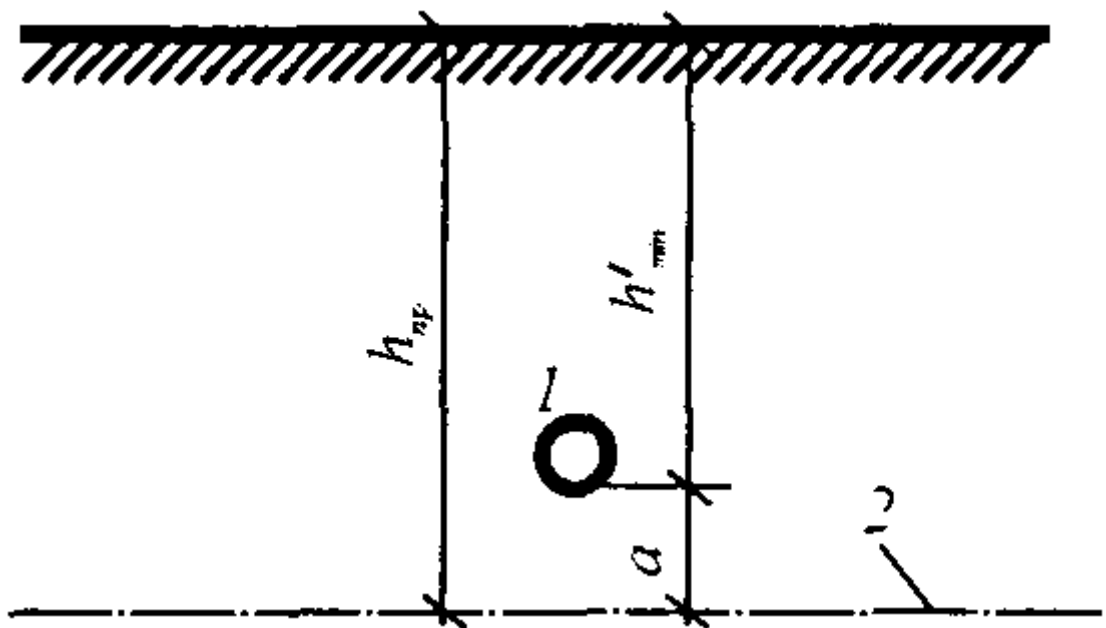


Рисунок 3.9 - Схема к определению глубины заложения трубопровода

Минимальную глубину заложения трубопроводов принимают на основании опыта эксплуатации подземных коммуникаций в данной местности.

В целях исключения механического разрушения трубопроводов от внешних нагрузок, возникающих в городских условиях, глубина заложения должна быть не меньше 0,7 м до верха трубопровода. Следовательно, минимальная глубина трубопровода до лотка равна

$$h'_{\min} = 0,7 + d,$$

$d$  — диаметр трубы, м.

Минимальная глубина заложения трубопровода в диктующей точке принимается из сравнения этих условий, при этом принимается большая из них. Продольный профиль поверхности земли строится с учетом отметок земли в узловых точках коллектора, взятых по горизонталям с плана города путем интерполирования. Построение продольного профиля коллектора начинается с определения начальной глубины заложения сети в «диктующей» точке.

При этом должен обеспечиваться самотечный выпуск сточных вод в городскую сеть от самого далеко и низко расположенного здания в квартале, примыкающего к начальному участку сети. Минимально допустимая глубина уличной сети в начальной точке  $H_0$ , м, определяется по формуле

$$H_0 = h_{\text{вып}} + i(L + l) + Z_0 - Z_{\text{вып}} + \Delta d,$$

$h_{\text{вып}}$  - глубина заложения выпуска из самого удаленного здания квартала м;  $Z_0$  - отметка поверхности земли в начальной точке уличной сети, м;  $i$  -

уклон внутриквартальной сети (обычно 0,008... 0,01);  $L + l$  - суммарная длина внутриквартальной сети и соединительной ветки, м;  $Z_{\text{вып}}$  - отметка поверхности земли у выпуска, м;  $\Delta d$  - разница в диаметрах городской и внутриквартальной сетей, м.

На рисунке 3.10 представлена схема к определению минимально допустимой глубины сети в диктующей точке, глубины первого колодца уличной сети. Суммарную длину внутриквартальной сети следует назначать по проекту внутриквартальной сети. В случае его отсутствия длина сети может быть принята равной сумме глубины квартала  $L$  и половины ширины проезда. Аналогично определяется минимальная глубина трубопровода по длине коллектора. В проекте принимается наибольшая из минимальных глубин, определенных из трех указанных выше условий.

Максимальная глубина заложения трубопроводов при открытом способе производства работ диктуется гидрогеологическими, техническими и экономическими условиями. В скальных грунтах ее рекомендуется принимать равной 4-5 м; в мокрых пльвинных - 5-6 м и сухих нескальных - 7-8 м.

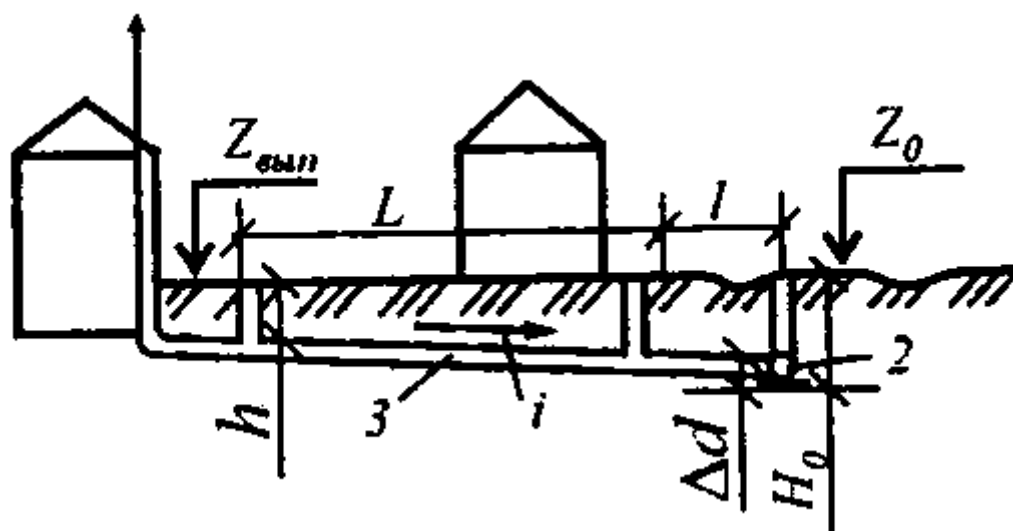


Рисунок 3.10 - Схема к определению начальной минимальной глубины заложения уличного трубопровода

При обосновании необходимости прокладки коллекторов на больших глубинах применяют закрытые способы строительства.

Гидравлический расчет и высотное проектирование водоотводящей сети. Проектирование водоотводящей сети обеспечивает разработку наиболее надежной и экономически эффективной системы водоотведения при соблюдении ряда важнейших оптимальных условий:

- 1) необходимо обеспечить условия самоочищения сети, то есть скорости движения сточных вод на любом участке сети не должны быть меньше минимально допустимых для принятого диаметра труб;
- 2) для обеспечения вентиляции сети и возможного сверх расчетного поступления сточных вод расчетное наполнение труб не должно превышать рекомендуемые для соответствующего диаметра;

3) следует соблюдать принцип наращивания скоростей по длине коллектора при плавном слабовыраженном рельефе местности. Исключение допускается при переходе коллектора с крутого участка поверхности земли на более пологий при резком уменьшении уклона трубопровода. Во избежание чрезмерного заглубления коллектора скорость на таких участках может уменьшаться при условии, что ее значения не будут ниже самоочищающих;

4) необходимо обеспечить возможность самотечного присоединения боковых линий;

5) не следует создавать подпора в сети;

6) необходимо обеспечить наименьшую по техническим условиям глубину заложения сети;

7) при больших уклонах местности скорости сточных вод не должны превышать скоростей, предельно допустимых для выбранного материала труб;

8) необходимо уменьшать количество насосных станций;

9) следует обеспечивать возможность расположения коллекторов на нормативно допустимых расстояниях от других трубопроводов и подземных сооружений, как по горизонтали, так и по вертикали.

Вопрос о расположении водоотводящих трубопроводов в поперечном профиле улиц не может быть решен для всех случаев одинаково. В городах, где начертание уличной водоотводящей сети принято по объемлющей схеме, водоотводящие трубопроводы располагают по оси улицы. Такое расположение создает примерно равные условия для присоединения дворовых сетей к уличным. Однако расположение трубопроводов по оси улиц создает неудобства и некоторую опасность для обслуживающего персонала водоотводящей сети, в особенности на улицах с интенсивным движением городского транспорта.

На улицах с интенсивным движением рекомендуется переносить уличную сеть к бровке тротуара, если подземные коммуникации города не препятствуют этому. При существующей водоотводящей сети на оси улиц с интенсивным движением транспорта приходится устраивать входные камеры к смотровым колодцам на тротуарах.

На рисунках 3.11 и 3.12 приведены примеры комплексного решения укладки подземных сетей в пределах городских улиц в открытых выемках с односторонним и двусторонним размещением прокладок. Все подземные сети желательно выносить за пределы проезжей части улицы в полосу газонов и тротуаров.

На уличных проездах шириной 30 м и более в зависимости от количества и расположения боковых присоединений, надземных и подземных сооружений, а также полос зеленых насаждений допускается трассировать параллельные линии водоотводящих сетей по обеим сторонам улиц.

При большом количестве подземных коммуникаций можно рекомендовать на магистральных улицах совмещенную прокладку трубопроводов разного назначения в специальных галереях.

Прокладка подземных сетей в специальных галереях позволяет избежать раскопки проезжей части улицы для укладки или ремонта различных подземных коммуникаций.



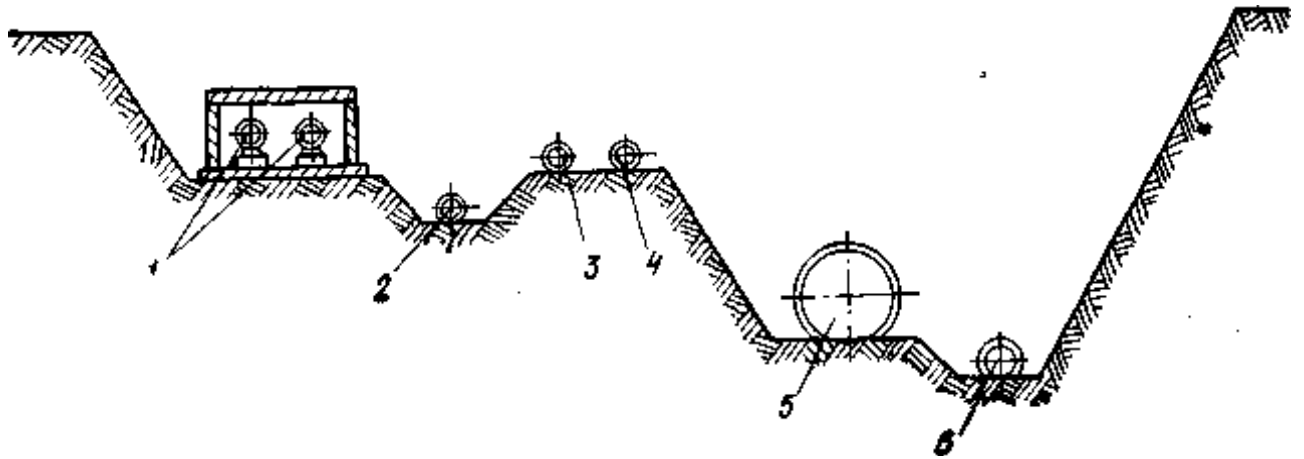


Рисунок 3.11 Укладка подземных сетей в открытых выемках при одностороннем размещении: 1 - теплосеть; 2 - водопровод; 3 - газопровод среднего давления; 4 - газопровод низкого давления; 5 - водосток; 6 – водоотводящая сеть

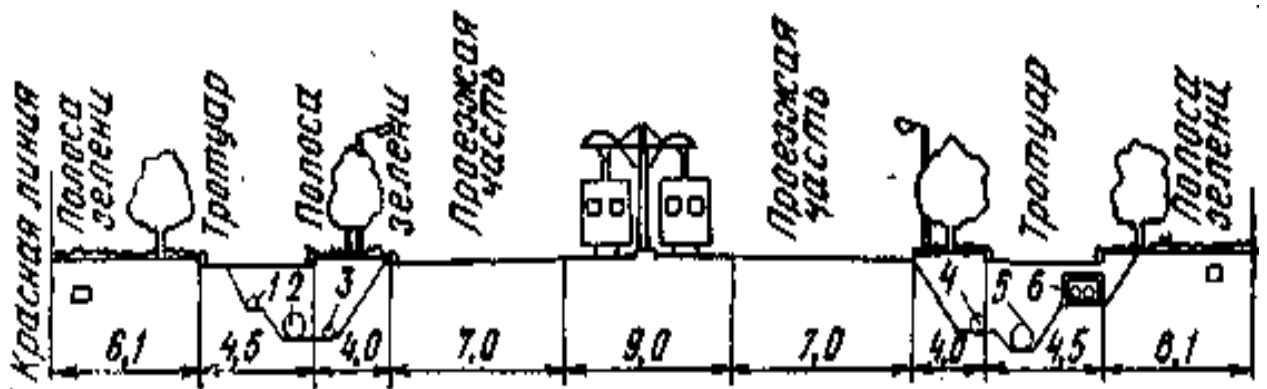


Рисунок 3.12 - Укладка подземных сетей в открытых выемках при двустороннем их размещении: 1 - газопровод  $d = 300$  мм; 2 - водовод  $d = 900$  мм; 3 - водопровод  $d = 300$  мм; 4 - водоотводящая сеть;  $d = 400$  мм; 5 - водосток  $d = 600$  мм; 6 - теплосеть  $d = 300$  мм

Прокладка подземных сетей в специальных галереях (рисунок 3.13) упрощает их эксплуатацию и снижает эксплуатационные расходы. Подземные галереи обязательно должны быть освещены.

Недостатком галерей является их относительно высокая стоимость, и поэтому устройство их может быть рекомендовано только на основных магистралях крупного города, где прокладка отдельных сетей затруднена, а эксплуатация весьма осложнена из-за интенсивного движения.

Для обоснования оптимальной схемы водоотведения рассматривают несколько равноценных в технологическом и санитарном отношении вариантов. Выбор оптимальной схемы основан на результатах экономического сравнения вариантов на стадии разработки технического проекта. Гидравлический расчет водоотводящих сетей производится на стадии технического проекта. Основой для расчета является выбранная схема водоотведения. На схемах фиксируются начала и концы расчетных участков. Длины расчетных участков принимаются

равными длине кварталов. Расчет начинают с диктующей точки. Диктующая точка - наиболее удаленная и низкорасположенная начальная точка водоотводящей сети. Начиная от диктующей точки, в направлении движения воды, нумеруются расчетные участки и определяются их длины. Затем определяют расчетные расходы, по которым устанавливают диаметры и уклоны трубопроводов. По итогам расчета строят продольные профили уличных трубопроводов и коллекторов. При разработке рабочих чертежей составляют планы водоотводящей сети в масштабе 1:500 или близком к этому. Все сооружения водоотводящей сети привязывают к углам зданий и реперам засечками.

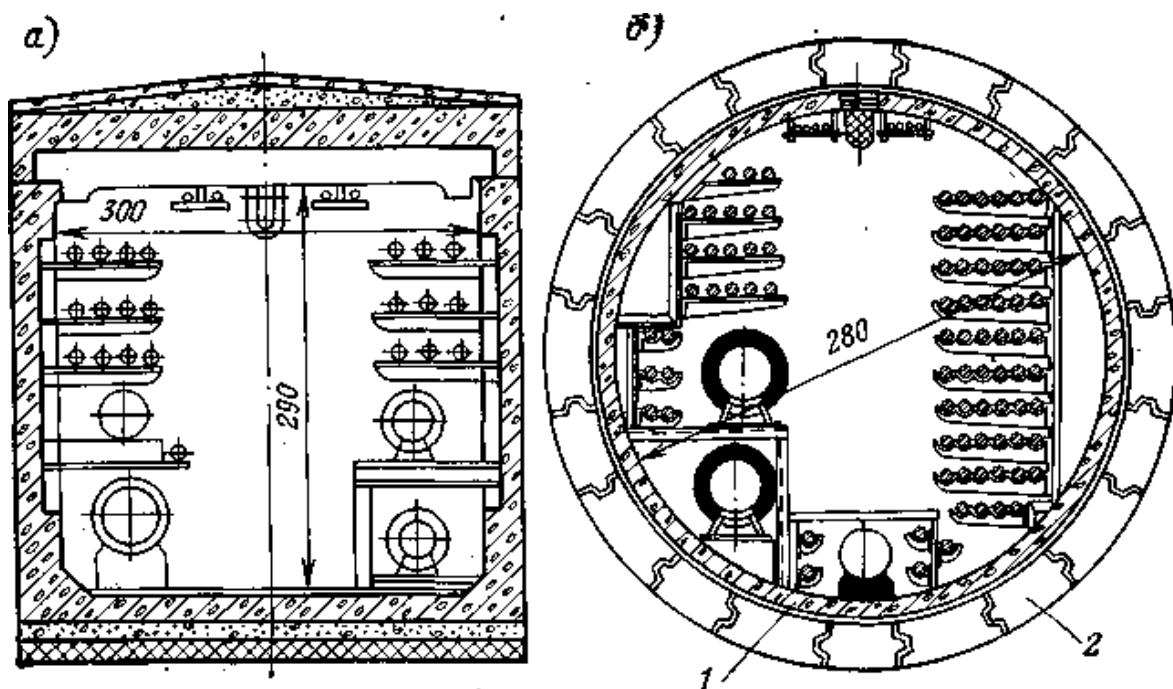


Рисунок 3.13 - Туннели для подземных сетей

Схемы водоотводящих сетей промышленных предприятий. Особенность схем водоотведения промышленных предприятий заключается в том, что там выполняется несколько технологических водоотводящих сетей, имеющих свои регулирующие резервуары, насосные установки и очистные сооружения. Составление схем сетей и расположение других сооружений производится с учетом размещения производственных цехов и выпусков из них воды. Расположение подземных и наземных сооружений выполнено как единое подземное комплексное хозяйство с учетом общего планировочного решения промышленной площади и взаимной компактной и легкодоступной прокладки сетей. Насосные установки для перекачки производственных сточных вод, выделяющих вредные газы и пары, располагаются в отдельных зданиях с обеспечением постоянной их вентиляции. Для инертных производственных и бытовых сточных вод допускается совмещенная насосная станция, а приемный резервуар выполняют с числом отделений, соответствующих числу несмешиваемых потоков. Бытовые сточные воды промышленного предприятия по отдельным сетям самотеком или с помощью насосов отводят в городскую водоотводящую сеть.

### 3.4. Трубопроводы и каналы

В практике строительства водоотводящих сетей наиболее широко используются трубы круглого сечения, которые в большей степени удовлетворяют гидравлическим, технологическим, строительным и другим требованиям. На рисунке 3.14 показаны различные формы поперечных сечений водоотводящих труб, коллекторов и каналов, подразделяющихся на круглые, сжатые и вытянутые.

Круглый трубопровод имеет гидравлически наиболее выгодную форму, обладает большей пропускной способностью и удовлетворяет требованиям индустриализации строительства. Круглая форма сечения предпочтительна для осуществления прочисток от выпавшего осадка.

Сжатые формы сечений (рисунок 3.14б, и, к) обеспечивают меньшее их загромождение и применяются при незначительных колебаниях расходов сточных вод.

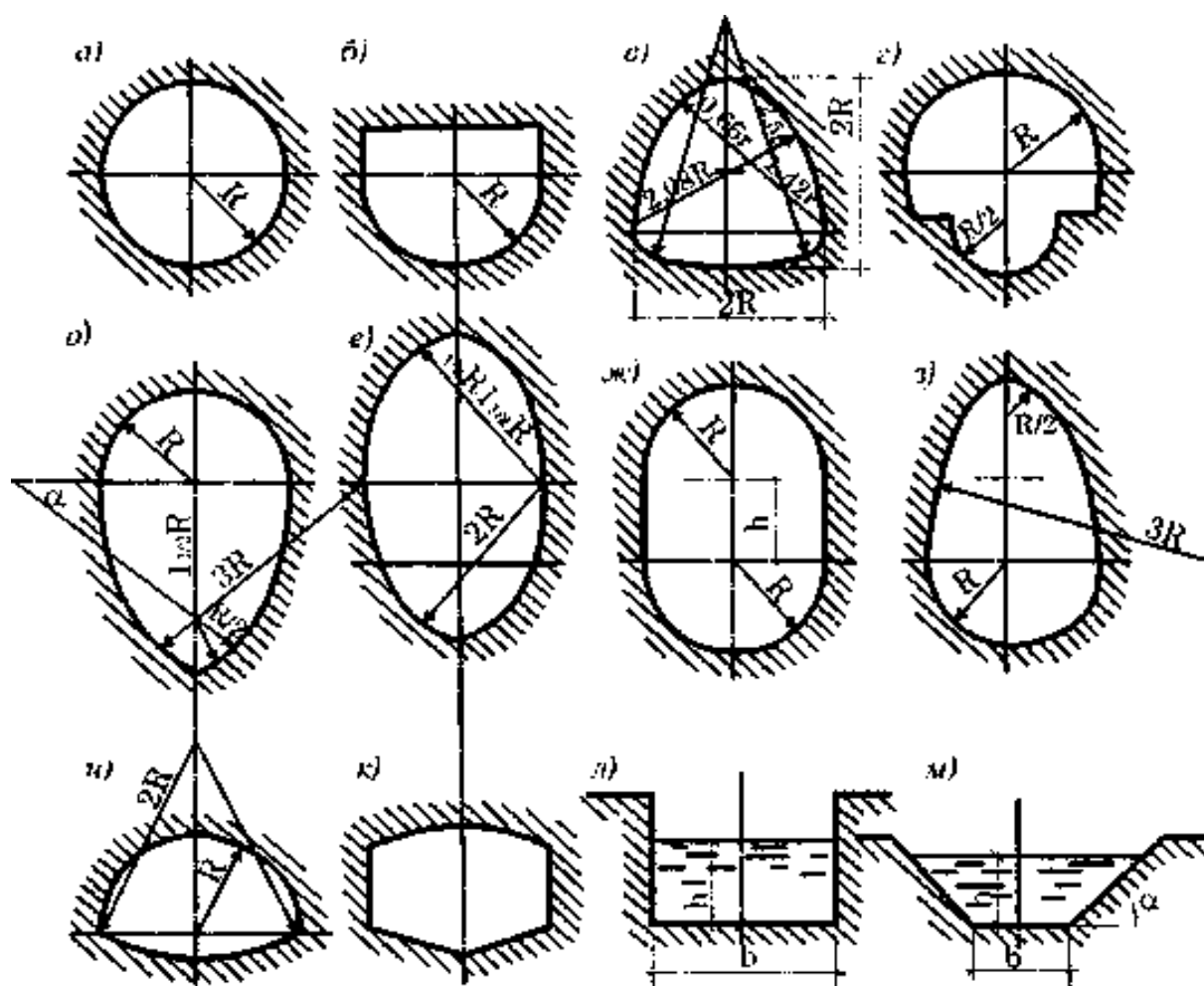


Рисунок 3.14 - Формы поперечного сечения водоотводящих труб, коллекторов и каналов: а - круглое; б - полукруглое; в - шатровое; г - банкетное; д - яйцевидное (овоидальное); е - эллиптическое; ж - полукруглое с прямыми вставками; з - яйцевидное перевернутое; и - лотковое; к - пятиугольное; л - прямоугольное; м - трапецидальное

Коллекторы, имеющие вытянутые формы сечений (рисунок 3.14 д, е, ж, з), целесообразно применять при больших колебаниях расходов, так как практически

при любом наполнении обеспечивается оптимальное соотношение глубины и ширины водного потока.

Для отвода сточных вод со значительными колебаниями расходов применяются коллекторы, имеющие банкетное сечение (рисунок 3.14 г).

При индустриализации строительства наибольшее преимущество имеют те трубы, которые можно выполнить с наименьшим числом элементов по периметру коллектора.

За пределами городов и населенных пунктов возможно применение незамкнутых сечений трапецеидальных и прямоугольных форм каналов (рисунок 3.14 л, м). Они применяются для транспортирования сточных вод в пределах очистных станций - от сооружения к сооружению.

Соотношения их геометрических размеров часто диктуются планировочными и технологическими требованиями. При этом следует иметь в виду, что строительство трубопроводов гидравлически наивыгоднейших сечений более экономично.

Трапецеидальное сечение является гидравлически наивыгоднейшим при соотношении

$$b/h = 2(\sqrt{1+m^2} - m),$$

$m = \operatorname{ctg} \alpha$ , а прямоугольное - при  $b/h = 2$ .

Гидравлическая характеристика поперечных сечений коллекторов определяется наибольшей их пропускной способностью при заданном уклоне и площади живого сечения потока.

При одной и той же величине гидравлического радиуса  $R$  скорости течения жидкости водоотводящей сети круглого сечения при полном и половинном наполнении считают равными; они достигают максимума при наполнении  $h = 0,813d$ . Пропускная способность труб достигает максимума при наполнении  $h = 0,95d$ , а затем уменьшается. Причем расход при полном наполнении трубы в два раза больше, чем при половинном.

На рисунке 3.15 приведены кривые изменения скоростей  $V$  и расходов  $q$  в трубах круглого сечения в зависимости от степени наполнения. По оси ординат отложены степени наполнения  $h$ , а по оси абсцисс - соответствующие этим наполнениям скорости  $V$  и расходы  $q$ , выраженные в долях от скорости и расхода при полном наполнении. Наполнение  $h < 0,5d$  не принимается, так как при этом существенно уменьшаются скорость потока и расход воды.

Для городских водоотводящих сетей в зависимости от диаметра трубопровода рекомендуется  $h = 0,5d \dots 0,8d$ .

Для водостоков рекомендуется принимать  $h = 0,95d \dots 1,0d$ .

Для проектирования бытовых водоотводящих сетей принимается безнапорный режим движения жидкости с частичным наполнением труб.

Этот режим обладает рядом преимуществ перед напорным режимом. В бытовых и производственно-бытовых сетях обеспечивается некоторый резерв в живом сечении трубопровода. Через свободную от воды верхнюю часть сечения трубы осуществляется вентиляция разветвленной водоотводящей сети. При этом из трубопроводов непрерывно удаляются образующиеся в воде газы, которые вы-

зывают коррозию трубопроводов и сооружений на них, осложняют эксплуатацию водоотводящих сетей. В безнапорном режиме движения жидкости лучше транспортируются с водой нерастворимые примеси, также происходит самоочищение трубопроводов от отложений.

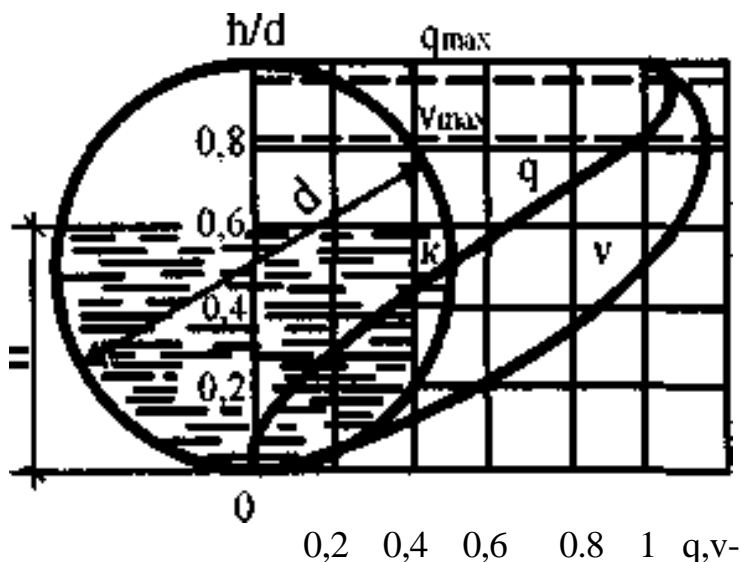


Рисунок 3.15 - Зависимость  $q$  и  $v$  от степени наполнения трубопровода  $h/d$

Приток сточных вод осуществляется неравномерно. Часовой максимальный расход бытовых вод превышает минимальный расход в 3-5 раз. В случае безнапорного режима снижение скорости движения при уменьшении расхода происходит в значительно меньшей степени, так как одновременно происходит уменьшение наполнения и живого сечения трубы. Таким образом, даже при расходах, меньше расчетных, максимальные скорости движения сточных вод сохраняются и в трубах не происходит накопления осадка в больших объемах.

### 3.5 Гидравлический расчет самотечных сетей водоотведения

Расчет самотечных трубопроводов заключается в определении их диаметра (или размеров коллектора, если он имеет не круглую форму), уклона и параметров их работы - наполнения и скорости. Обычно предварительно определяется расход, который является исходным для расчета. Расчет трубопроводов - не только гидравлическая задача. Полученные результаты должны удовлетворять технологическим и экономическим требованиям.

В целях упрощения гидравлических расчетов водоотводящих сетей движение воды в них условно принимается установившимся и равномерным. По поводу расчета самотечных трубопроводов существует две точки зрения.

Первая точка зрения. Для расчета рекомендуются формулы постоянства расхода  $q = \omega v$  и Шези

$$V = C\sqrt{Ri},$$

$q$  - расчетный расход;  $\omega$  - площадь живого сечения;  $V$  - скорость;

C - коэффициент Шези;  $R = \omega/\chi$ - гидравлический радиус;  $\chi$  - смоченный периметр;  $i = h_1 / l$  - уклон лотка;  $h_1$  - падение лотка на длине  $l$ .

Для определения коэффициента Шези рекомендуется формула Н. Н. Павловского (при  $0,1 < R < 3$  м)

$$C = R^y / n,$$

y- показатель степени, определяемый по формуле

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1)$$

n - коэффициент шероховатости, зависящий от состояния стенок трубопровода (таблица 3.1).

Для приблизительных расчетов Н. Н. Павловский рекомендовал следующие формулы:

при  $1,0 < R < 1,0$

$$y \approx 1,5\sqrt{n}$$

при  $1,0 < R < 3,0$

$$y \approx 1,3\sqrt{n}$$

Таблица 3.1-Значения коэффициентов n,  $\Delta_3$  и  $a_2$  для определения коэффициента C и  $\lambda$ ,

Характеристика труб и коллекторов	n	$\Delta_3$ , см	$a_2$
Трубы:			
керамические	0,013	0,135	90
бетонные и железобетонные	0,014	0,2	100
асбестоцементные	0,012	0,06	73
чугунные	0,013	0,1	83
стальные	0,012	0,08	79
Коллекторы:			
бетонные и железобетонные монолитные	0,015	0,3	120
то же, сборные	0,014	0,08	50
кирпичные	0,015	0,315	110
земляные в различных грунтах	0,022-0,03	-	-

Вторая точка зрения. Для расчета рекомендуются формулы постоянства расходов  $q = \omega v$  и формула Дарси:

$$i = (\lambda/4R)(v^2/2g).$$

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  рекомендуется определять по формуле

$$1/\sqrt{\lambda} = -2\Delta_n(\Delta_n/13,68R + a_2/Re),$$

$\Delta_n$  - эквивалентная абсолютная шероховатость;  $a_2$  - коэффициент, учитывающий характер шероховатости стенок труб (см. табл. 3.1);  $Re = 4Rv/\nu$  - число Рейнольдса;  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости.

Если учесть соотношение

$$C = \sqrt{8n/\lambda},$$

то расхождения в двух точках зрения стираются. Для возможных условий проектирования расчеты с учетом различных точек зрения дают практически одинаковые результаты.

При определении местных потерь напора применяется формула Вейсбаха:

$$h_m = \xi v^2/2g,$$

$\xi$  - коэффициент местного сопротивления, значения которого приводятся в справочной литературе.

Известно, что максимальный расход воды в трубах наблюдается при наполнении  $h/d = 0,95$ . Поэтому наполнение, большее этого значения, принимать нецелесообразно. Однако, расчетные наполнения рекомендуется принимать даже меньше этого значения по следующим двум причинам.

Во-первых, при определении расчетных расходов не учитываются колебания расходов в пределах часа суток, когда может наблюдаться максимальный расход. А эти колебания могут быть как в меньшую, так и в большую стороны.

Во-вторых, вследствие неравномерности движения воды, наполнение в трубопроводе в отдельных местах может быть больше расчетного. В целях исключения подтопления трубопроводов при расчетных условиях наполнение в трубопроводах бытовой водоотводящей сети рекомендуется принимать не более 0,8. Рекомендуемые максимальные наполнения приведены в таблице 3.2.

В трубопроводах дождевых сетей (водостоках) полных раздельных систем водоотведения, а также в общесплавных трубопроводах и общесплавных коллекторах полураздельных систем водоотведения при расчетных условиях наполнение рекомендуется принимать  $h/d = 1$ . Это объясняется тем, что расчетные условия в этих трубопроводах наблюдаются весьма редко - 1 раз в 0,25-10 лет. Таким образом, значительную часть времени эти трубопроводы также будут работать при частичном наполнении.

Содержащиеся в сточных водах нерастворенные примеси способны выпадать в осадок, уменьшать сечение трубопроводов и вызывать их полное засорение. Наиболее сложно транспортируются потоком воды минеральные примеси, обладающие большой плотностью. Транспортирование нерастворенных примесей потоком является следствием его турбулентности. При определенных малых скоростях взвешенные вещества осаждаются на дно и образуют плотный осадок. При достижении определенной скорости осадок приходит в движение, образуя

слой осадка, имеющий форму непрерывных гряд, которые движутся в направлении потока, но с меньшей скоростью (рисунок 3.16). Скорость, соответствующая началу движения осадка, называется размывающей. При дальнейшем увеличении скорости и достижении определенного значения весь осадок взвешивается турбулентным потоком, а трубопровод самоочищается. Скорость, соответствующая этому моменту, называется самоочищающей. Известно также понятие критической скорости. Эта скорость - соответствует началу осаждения примесей (при уменьшении скорости) или полного самоочищения (при увеличении скорости). Расход сточных вод в водоотводящих сетях изменяется в широких пределах от определенного минимального до известного максимального, который принимается за расчетный. Обеспечить возможность транспортирования всех примесей потоком при любом расходе, в том числе и минимальном, не представляется возможным, так как в этом случае потребовалось бы прокладывать трубопроводы с большими уклонами, а это привело бы к их значительным заглублениям. В настоящее время расчет трубопроводов производится при условии поддержания труб в чистом состоянии при максимальном расчетном расходе. Таким образом, при минимальных расходах в трубопроводах допускаются отложения, но при достижении расчетного расхода трубопроводы должны самоочищаться. Поэтому при расчете широко используется понятие самоочищающая скорость. Это минимальная скорость, которая должна обеспечиваться в водоотводящих сетях при расчетном расходе.

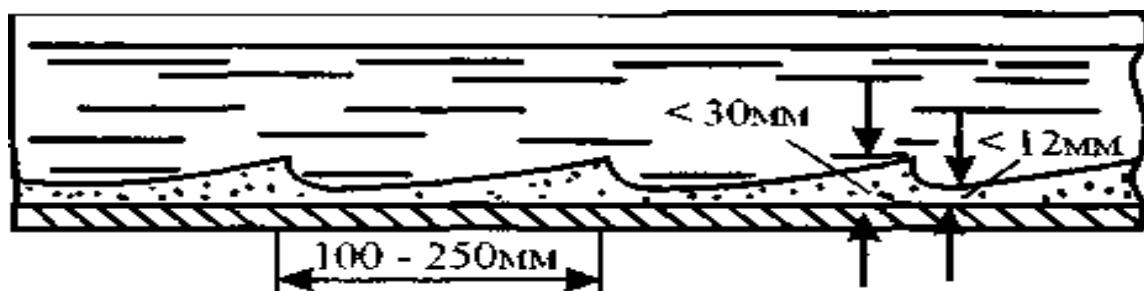


Рисунок 3.16 -Схема непрерывного передвижения отложений в водоотводящей сети

Минимальная скорость, которая обеспечивает самоочищение трубопровода, называется незаиляющей.

$$V_n = A \sqrt[n]{R},$$

$$A = 1,42 \text{ и } n = 4,5 + 0,5R$$

Самоочищающая скорость зависит и от коэффициента шероховатости  $n$ , так как важным источником турбулентности потока является шероховатость русла. Если в трубопроводах имеется осадок в виде гряд, то коэффициент  $n = 0,025$ . Если трубопровод чист, то  $n = 0,014$ . В таблице 3.3 приведены минимальные уклоны, соответствующие минимальным скоростям. Для труб минимальных диаметров минимальные уклоны приведены в таблице 3.4.



Таблица 3.3 - Рекомендуемые наполнения и минимальные скорости и уклоны

Диаметры, мм	Максимальные степени наполнения	Минимальные	
		скорости, м/с	уклоны
200	0,6	0,7	0,0046
300	0,7	0,8	0,0033
400	0,7	0,8	0,0021
500	0,75	0,9	0,002
600	0,75	1,0	0,0019
800	0,75	1,0	0,0013
1000	0,8	1,15	0,0013
1200	0,8	1,15	0,001
1400	0,8	1,3	0,001
2000	0,8	1,5	0,0009

Содержащиеся в сточных водах песок и другие минеральные примеси являются абразивными материалами, истирающими стенки трубопроводов в результате транспортирования жидкости. При этом интенсивность истирания пропорциональна скорости потока, движущегося в трубе. Поэтому на основании многолетнего опыта эксплуатации водоотводящих сетей установлены максимально допустимые скорости, равные 4 м/с - для неметаллических труб и 8 м/с - для металлических.

Таблица 3.4 - Минимальные диаметры и уклоны водоотводящей сети

Системы водоотведения	Минимальный диаметр (d <sub>min</sub> ), мм		Минимальные уклоны (i <sub>min</sub> )	
	внутриквартальной	уличной	внутриквартальной	уличной
Полная раздельная и полураздельная с сетями:				
бытовой	150	200	0,008 (0,007)	0,007 (0,005)
Дождевой (водостоки)	200	250	0,007 (0,005)	
Общесплавная	200	250	0,007 (0,005)	-

Примечание. В скобках указаны уклоны, которые допускается применять при обосновании.

Для определения минимального уклона известна формула

$$i_{\min} = \alpha_i / d,$$

d - диаметр трубопровода, мм;  $\alpha_i$  - коэффициент, равный:

d, мм	500	600-800	1000-1200	1400	1600	2000
$\alpha_i$	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Расчет трубопроводов по приведенным формулам или известным другим чрезвычайно сложен. При проектировании водоотводящих сетей требуется выполнять расчеты большого числа отдельных участков трубопроводов с различными условиями проектирования. Их расчет производится путем применения тех или иных упрощающих приемов, при которых используются разработанные таблицы, графики, номограммы, различные обобщенные параметры.

В настоящее время для расчета самотечных трубопроводов используют различные таблицы, к числу которых относятся таблицы А. А. Лукиных и Н. А. Лукиных (Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского. - М.: Стройиздат, 1987) и Н. Ф. Федорова и Л. Е. Волкова (Гидравлический расчет канализационных сетей. - Л.: Стройиздат, 1968).

Таблицы содержат значения расхода и скорости при различных наполнениях от 0,05 до 1,0 для всех возможных в инженерной практике диаметров и уклонов труб.

При проектировании водоотводящих сетей предварительно определяют расход. Уклон трубопровода принимают с учетом уклона поверхности земли и руководствуясь экономическими соображениями (минимальными объемом земляных работ и стоимости строительства). Расчет трубопроводов по описанным таблицам сводится к подбору диаметра трубопровода, обеспечивающего пропуск расхода при наполнении, соответствующем самоочищающей скорости.

Этот расчет весьма прост и удобен. Однако для него требуются таблицы большого объема, которые издаются отдельными книгами. В то же время, изданные таблицы не охватывают всех возможных в инженерной практике диаметров и уклонов трубопроводов и параметров их работы.

Расчет напорных трубопроводов заключается в определении диаметра и потерь напора. При полном заполнении сечения трубы  $q = \omega v = v\pi d^2/4$ , откуда диаметр трубы равен

$$d = \sqrt{4q/v\pi}.$$

Скорость движения воды в трубопроводах следует принимать такой, чтобы обеспечивался оптимальный режим работы системы насосы-трубопроводы (минимальные приведенные затраты). Эта скорость равна 1,5-2,5 м/с.

Потери напора находят по формуле Дарси, которая для напорного трубопровода имеет вид:

$$h = il = \lambda l v^2 / d 2g.$$

Коэффициент  $\lambda$  может вычисляться по формуле Н. Ф. Федорова:

$$1/\sqrt{\lambda} = -21g(\Delta_3 / 3,42d + a_2 / Re$$

Важное значение при расчете напорных трубопроводов имеет правильный

выбор коэффициентов шероховатости  $n$ ,  $\Delta_3$ ,  $a_2$  и др.

Напорные трубопроводы систем водоотведения часто имеют небольшую длину. В этом случае местные потери напора в коммуникациях насосных станций оказываются соизмеримыми с потерями напора по длине труб и их следует учитывать особо. При приближенных и предварительных расчетах общие потери определяют по формуле

$$h = k_m i l,$$

$k_m$ , - коэффициент, учитывающий местные потери напора (в долях от потерь по длине) и принимаемый равным 1,1-1,15.

Пересечения самотечных трубопроводов с реками, автомобильными и железными дорогами и другими инженерными сооружениями часто выполняются в виде дюкеров, которые представляют собой короткие трубы, огибающие препятствие снизу. Движение воды в дюкере происходит под напором, образующимся в результате разности уровней воды в его начале и конце.

### 3.6 Определение расчетных расходов сточных вод для участков сети

Расчетный расход для расчетного участка сети можно определить по тяготеющим площадям и по удельному расходу на единицу длины трубопровода. Первый метод «площадей» широко применяется в инженерной практике, второй - метод «длин» - применяется реже.

При определении расчетного расхода по тяготеющим площадям используются понятия транзитного, бокового, попутного и сосредоточенного расходов.

На рисунке 3.17 представлены схемы, иллюстрирующие методику определения расхода  $q_{21-22}$  на участке 21-22

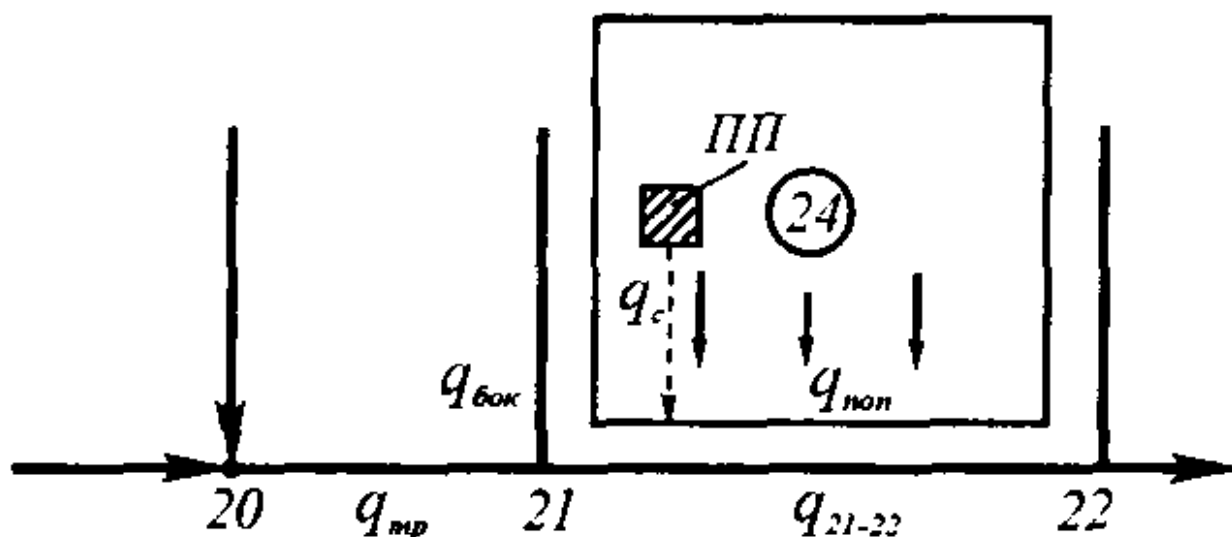


Рисунок 3.17 - Схемы к определению расчетных расходов при трассировке сети по пониженной стороне квартала

Транзитный расход  $q_{тр}$  - расход на предшествующем расчетном участке (участок 20-21); боковой расход  $q_{бок}$  - расход, поступающий с боковой ветки; по-

путный расход  $q_{\text{поп}}$  - расход, поступающий с прилегающего квартала; сосредоточенный расход  $q_c$  от нежилого объекта.

При определении расчетного расхода общий коэффициент неравномерности может быть введен только на общий средний расход  $q_i$

$$Q_i = q_0 \cdot F_i, \text{ л/с}$$

$q_0$  - модуль стока;  $F_i$  - общая площадь кварталов, тяготеющая к данному расчетному участку.

По схеме на рисунке 3.18 видно, что попутный расход  $q_{\text{поп}}$  в рассматриваемый участок 21-22 поступает по всей его длине. В целях упрощения расчета его условно считают присоединенным в начале участка (в точке 21).

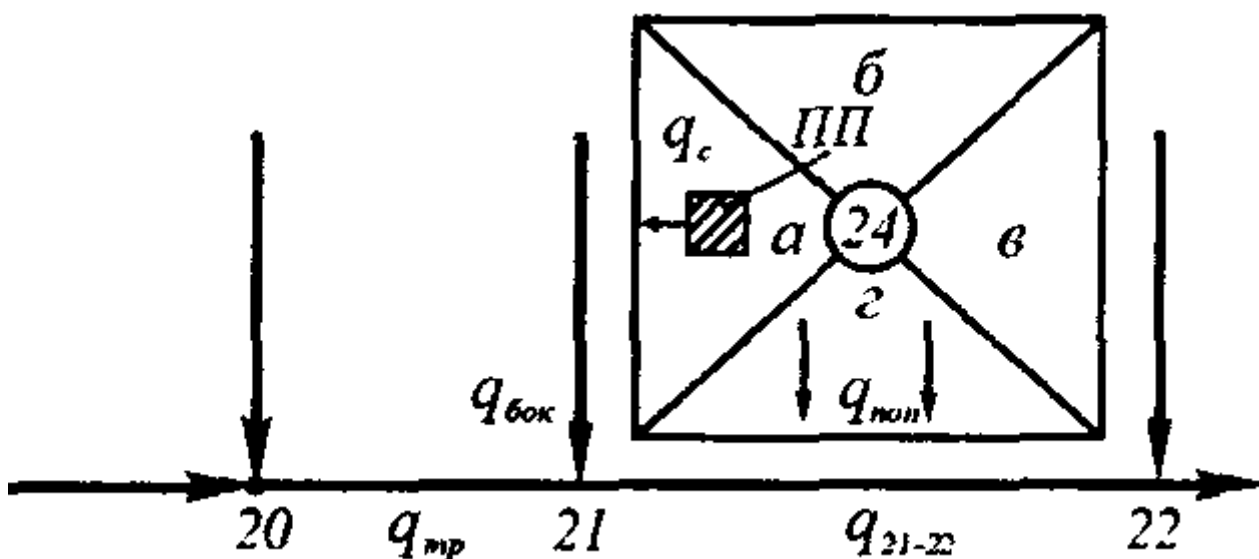


Рисунок 3.18 - Схема к определению расчетных расходов по объемлющей трассировке;  $a$  и  $г$  - части кварталов, тяготеющие к прилегающим веткам

Сосредоточенный расход  $q_c$  от нежилого объекта определяют как сумму расчетных расходов сточных вод различного происхождения (например, бытовых, душевых и производственных), каждый из которых вычисляют отдельно по известным зависимостям. Различают транзитный и местный сосредоточенные расходы.

I. Местный сосредоточенный расход — расход от промышленного предприятия, расположенного на прилегающем квартале или его части.

II. Транзитный сосредоточенный расход — расход от промышленного предприятия, попадающий в сеть выше расчетной точки 21.

Таким образом, расчетный расход на отдельном участке сети  $q_{21-22}$  определяется по формуле

$$q_{21-22} = [(q_{\text{поп}} + q_{\text{бок}}) + q_{\text{тр}}] \cdot K + q_c, \text{ л/с}$$

В целях упрощения расчеты выполняют в табличной форме (таблица 3.6). Предварительно на схеме водоотведения нумеруют все кварталы и определяют их площадь, га. Расчетный коллектор разбивают на отдельные расчетные участки.

В графу 1 заносят номера расчетных участков по движению воды от кварталов, создающих попутный, боковой и транзитный расходы, а в графу 3 - вычисленные суммы их площадей  $F$ , га. В графе 4 указывают определенный для данного района модуль стока  $q_0$ , л/(с га).

В графу 5 заносят значение среднего секундного расхода со всей тяготеющей к данному участку площади (попутного и бокового)  $q_{mid.s}$  л/с. Транзитный расход в графе 6 равен среднему расходу в графе 7 на предыдущем расчетном участке.

В графу 7 записывают  $q_{mid.s}$  - сумму средних бокового, попутного и транзитного расходов; в графу 9 -  $q_{max.s}$  - максимальный расход бытовых вод на расчетном участке.

Местный сосредоточенный расход на всех последующих участках становится транзитным. Расчетный расход в графе 12 вычисляется как сумма расходов в графах 9-11. Определение расчетных расходов начинают с диктующих точек.

Таблица 3.6 – Определение расчетных расходов для участков сети

№ расчетных участков	№ кварталов	$F$ , га	$q_0$ , л/(с·га)	$q_{pop} + q_{бок}$ , л/с	$Q_{тр}$ , л/с	$q_{mid.s}$ , л/с	$K$	$q$ , л/с	Сосредоточенный расход, $q_c$ , л/с		Расчетный расход $q_{сч}$ , л/с
									Местный	Транзитный	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0-1	6	3,2	0,69	2,21	-	2,21	5,97	5,97	-	-	5,97
1-2	5;4	13,5	0,69	9,32	2,21	11,53	24,21	24,21	-	-	24,21
2-3	7(1/4)	2	0,69	1,38	11,53	12,91	26,47	26,47	-	-	26,47
3-4	3;8(1/3)	10,27	0,69	7,09	12,91	20	38	38	-	-	38
4-5	9(1/2);2;	22,9	0,69	15,8	20	35,8	64,44	64,44	-	-	64,44
5-6	1;	5,7	0,69	3,93	35,8	39,73	70,32	70,32	-	-	70,32
6-7	10	57,74	0,69	39,84	39,73	79,57	130,49	130,49	-	-	130,49
7-8	9(1/2);7 (3/4);8(2/3); 11-16; 21;22 17;18;20	17,6	0,69	12,14	79,57	91,71	148,57	148,57	-	-	148,57

Техника вычисления существенно упрощается, если результаты гидравлического расчета и построение продольного профиля сводятся в таблицу определенной формы (таблица 3.7).

Расчетный расход сточных вод по удельному расходу на единицу длины трубопроводов, тяготеющих к отдельным участкам сети определяется аналогично описанному выше.

Средние попутные, боковые и транзитные расходы находят по формуле

$$q_i = q_{вд} \sum l_i,$$

$q_{вд}$  - удельный расход на 1 м длины самотечных трубопроводов всего города;  $\sum l_i$  - суммарная длина всех участков сети, присоединяемых к началу расчетного участка.

Удельный расход определяется по формуле

$$q_{вд} = q_{mid.s} / L, \text{ л/с}$$

$q_{mid.s}$  - средний расход сточных вод от всего города, определяемый по формулам;  $L$  - общая протяженность самотечных трубопроводов, города, м.

Вычисленные расходы сточных вод для отдельных участков сети сводятся в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 - Гидравлический расчет коллектора

№ участка	Длина $l$ , м		Расчетный расход $q_{сib}$ л/с	Диаметр $d$ , мм	Уклон $i$	Скорость $v$ , м/с	Наполнение		Падение $h = i l$
							$h/d$	$h$ , м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0-1									
Отметки по расчетным участкам, м							Глубина заложения лотка трубы, м		
поверхности земли		поверхности воды		лотка трубы					
в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце		
10	11	12	13	14	15	16	17		

Таблица 3.8-Определение расчетных расходов для отдельных участков сети по удельному расходу на 1 м длины трубопровода

№ расчетных участков	№ участков	$\sum L$ , м	$q_{уд}$ л/(с·м)	$q_{ноп} + q_{бок}$ л/с	$q_{тр}$ л/с
1	2	3	4	5	6
0-1					
1-2					

Анализ рассмотренных методов определения расчетных расходов показывает, что метод по тяготеющим площадям более точен, а метод по удельному расходу может давать завышенные или заниженные расходы на первых пяти десяти расчетных участках, начиная от диктующей точки.

### 3.7 Правила конструирования водоотводящих сетей

Под конструированием водоотводящей сети понимают строгое выполнение определенных инженерных решений, обеспечивающих безаварийную надежную работу всех ее сооружений в любой момент времени. Основное требование - обеспечение в водоотводящей сети благоприятных гидравлических условий движения потока сточных вод, исключающих заиливание трубопроводов. Это требование заключается в обеспечении самоочищающих скоростей на всех интервалах водоотводящей сети и во всех сооружениях. Между колодцами трубопроводы прокладывают строго прямолинейно. Точность укладки труб по заданной отметке составляет  $\pm 3$  мм. В местах изменения направления трубопровода в плане, изменения его уклона, присоединения к нему боковых веток, а также на прямолинейных участках сети через 40-150 м следует устраивать смотровые колодцы. Соединения самотечных трубопроводов в колодцах выполняют в виде открытых лотков полукруглой формы. На поворотах лотки в пределах колодца выполняют по кривым с радиусом не менее диаметра трубы. На крупных коллекторах с диаметром от 1200 мм радиус кривой поворота принимают не менее пяти диаметров и предусматривают смотровые колодцы в начале и конце кривой. Угол поворота кривой потока в трубопроводах или при соединениях боковых веток не должен превышать  $90^\circ$ . Если по первоначальной схеме это условие не обеспечивается (рисунок 3.19), то один поворот на угол  $\alpha_{\text{н}}$ , заменяется на два по углам  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  путем устройства дополнительной ветки.

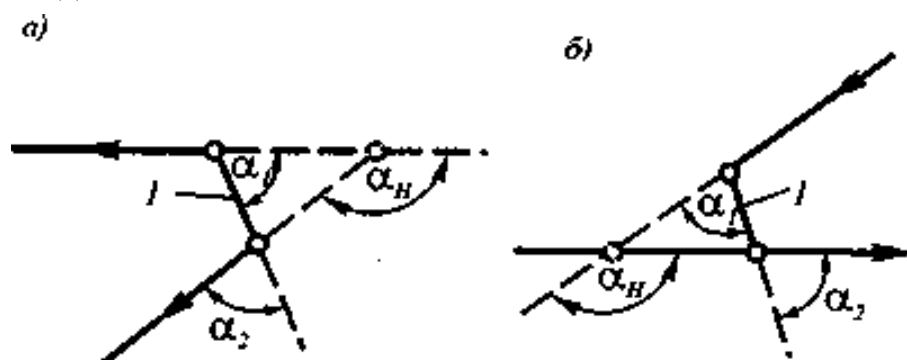


Рисунок 3.19 - Схемы поворота трубопровода (а) и присоединения боковых веток (б): 1 - дополнительная ветка

Любой угол поворота трубопровода в плане может быть выполнен при устройстве в колодце перепада - стояка. В этом случае поток совершает два поворота под углом  $90^\circ$ : первый - с горизонтального направления на вертикальное; второй - с вертикального на новое горизонтальное направление. Расчет трубопровода в направлении движения воды даже при увеличении расхода может привести к уменьшению диаметра. Это происходит при резком увеличении уклона трубопровода и соответственно увеличении его пропускной способности. Допускается уменьшение диаметра на один размер по сортаменту при диаметре трубопровода до 300 мм и на два размера - при большем диаметре. Соединения труб в этом случае выполняют по лоткам труб. При значительном увеличении уклона трубопровода возможно устройство быстротока, оборудованного водобойным колодцем для затопления гидравлического прыжка и гашения энергии потока. При большой разнице в заглублении труб соединение выполняют либо путем

устройства перепадного колодца перед присоединением на боковой ветке, либо прокладки предыдущего перед присоединением участка трубопровода на боковой ветке с увеличенным уклоном. Расчетная скорость в боковом присоединении не должна быть больше, чем в основном коллекторе. В местах сопряжения потоков не следует допускать встречных течений, ударов струй и подпоров. Боковые присоединения не должны тормозить течение в основном потоке. Наполнения в присоединяемых трубах должны быть выровнены по уровню воды или быть выше, чем в основном коллекторе. Трубы малых размеров присоединяют к коллекторам больших размеров таким образом, чтобы лоток малого диаметра трубы находился на одном уровне с поверхностью воды при расчетном заполнении в трубе большого диаметра.

Допускается присоединение внутриквартальных сетей к уличным коллекторам без устройства смотрового колодца при условии, что длина соединительной ветки от контрольного колодца не превышает 15 м, и скорость движения сточных вод в коллекторе свыше 1 м/с. Конструкции присоединения без колодцев не должны вызывать изменения очертания трубопровода основного коллектора и создавать препятствия для прохода оборудования при прочистке сети.

На стадии разработки рабочих чертежей решается вопрос о способе прокладки трубопроводов в пределах проездов. Их расположение обязательно должно увязываться с положением других подземных и наземных сооружений.

Расположение трубопроводов должно обеспечивать надежность функционирования, доступность при ремонтных работах, соблюдение санитарных условий и требований охраны окружающей природной среды.

При параллельной прокладке самотечных трубопроводов на одном уровне с водопроводами расстояние между стенками труб должно быть не менее 1,5 м при водопроводах диаметром до 200 мм и не менее 3 м - большего диаметра.

При пересечении с водопроводной сетью самотечные трубопроводы укладывают ниже не менее чем на 0,4 м. Это условие может не соблюдаться, если водопровод выполняется из металлических труб в футлярах.

При прокладке самотечных трубопроводов параллельно газопроводам расстояние в плане между стенками труб должно быть не менее для газопроводов различного давления:

- низкого (до 5кПа) - 1 м,
- среднего (0,3 МПа) - 1,5м,
- высокого (0,3-0,6 МПа) - 2м,
- высокого (0,6-1,2 МПа) - 5м.

Устройство аварийных выпусков на водоотводящей сети обеспечивает проведение аварийно-восстановительных работ при катастрофических повреждениях. Отсутствие аварийных выпусков, при недостаточной надежности системы водоотведения, становится причиной неорганизованного отведения сточных вод по территории населенных мест и вывода из строя оборудования. При дальнейшем развитии и повышении надежности необходимо развивать технологию водоотведения путем строительства аварийно-регулирующих резервуаров, дополнительных дублирующих водоводов, перемычек, обеспечивающих переключение потоков стоков по другим направлениям



Трубопроводы. Материалы, которые используются для изготовления труб, должны удовлетворять строительным, технологическим и экономическим требованиям. Строительные требования заключаются в обеспечении прочности и долговечности конструкций и возможности индустриализации строительства; технологические - в обеспечении водонепроницаемости и максимальной пропускной способности труб, а также исключении их истирания и коррозии; экономические - в обеспечении минимальной стоимости материалов и расходовании минимального количества дефицитных материалов. В конкретных условиях проектирования могут предъявляться и другие требования.

Изложенным требованиям удовлетворяют керамические, асбестоцементные, бетонные, железобетонные, чугунные и пластмассовые трубы.

Трубы керамические канализационные для устройства безнапорных сетей выпускаются по ГОСТ 286-82 диаметром 150-300 мм (рисунок 3.20). Они изготавливаются из пластичных спекающихся тугоплавких огнеупорных глин с добавлением шамота (обожженной глины в порошкообразном состоянии) путем обжигания при температуре 1250-1350°C. Покрытие их глазурью обеспечивает водонепроницаемость и гладкость (уменьшение шероховатости труб).

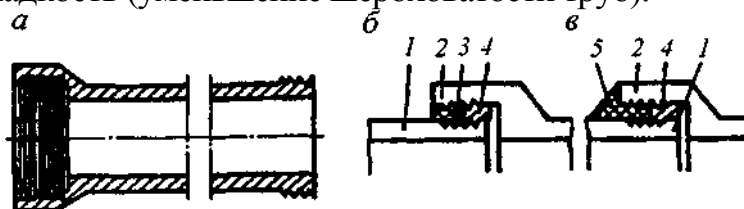


Рисунок 3.20 - Керамическая труба: а - общий вид; б - стык с асфальтовым замком; в - стык с асбестоцементным замком; 1 - гладкий конец; 2 - раструб; 3 - асфальтовая мастика; 4 - смоляная пряжка; 5 - асбестоцемент

Соединение керамических труб выполняется введением гладкого конца одной трубы в раструб другой с последующей заделкой стыка, состоящей из герметизирующей части (смоляной пряжки) и замка (асфальтовая мастика, асбестоцементный или цементный раствор).

Железобетонные безнапорные трубы изготавливаются по ГОСТ 6482-88 диаметром 400-3500 мм. Они подразделяются на раструбные и фальцевые (рисунок 3.21) и могут быть круглые и круглые с плоской подошвой.

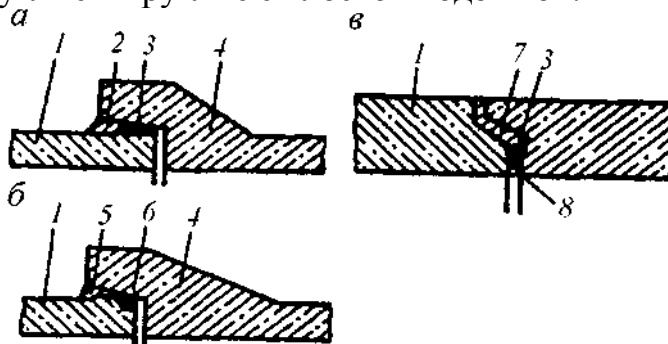


Рис. 3.21 - Стыки бетонных и железобетонных труб: а и б - раструбные; в - фальцевые; 1 - гладкий конец трубы; 2 - асбестоцемент; 3 - смоляная пряжка; 4 - раструб; 5 - цементный раствор; 6 - резиновые кольца; 7 - цементный раствор или асфальтовая мастика; 8 - затирка цементным раствором

В зависимости от прочности трубы бывают двух групп: 1) нормальной прочности; 2) повышенной прочности. Герметизация стыков осуществляется смоляной прядью, специальными полисульфидными герметиками 51-УТ-37А и КБ-1 (ГС-1) или резиновыми кольцами. Замок стыка выполняется из асбестоцементного или цементного раствора или асфальтовой мастики.

Асбестоцементные трубы (безнапорные) изготавливаются по ГОСТ 1839-80 диаметром 100-400 мм. Соединение их осуществляется с помощью муфт.

Чугунные напорные (ГОСТ 9583-75\*) и безнапорные (ГОСТ 6942.3-80) трубы с раструбным соединением диаметром 50-400 мм достаточно широко используют для прокладки водоотводящих сетей.

Находят применение трубы стальные электросварные с внутренним цементно-песчаным покрытием по ТУ 14-154-23-90 и внешним противокоррозийным покрытием из полиэтилена «Антикорекс» по ТУ 400-24-559-88.

Пластмассовые трубы. Для производства пластмассовых труб широко используют термопластики: поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП). Трубы из поливинилхлорида более дешевые по сравнению с трубами из полиэтилена и полипропилена. Пластмассовые трубы используются для транспортировки сточных вод с температурой до +45°C. Пластмассовые трубы выпускаются напорные и безнапорные, гладкие и гофрированные. Соединения пластмассовых труб осуществляются посредством муфт или раструбов с уплотнительными резиновыми кольцами. Для напорных и самотечных трубопроводов большого диаметра применяют стекловолокнистый полистирол на основе терморезистивных пластиков, лучше воспринимающих механические нагрузки.

Стальные трубы напорные бесшовные (ГОСТ 8732-78) наружным диаметром 152-465 мм, электросварные (ГОСТ 10706-76) наружным диаметром 530-1220 мм.

Трубопроводы больших диаметров (круглые, некруглые), которые часто называют коллекторами, выполняются из сборного железобетона. Конструкция их в основном зависит от способа производства работ, глубины заложения трубопровода, геологических и гидрогеологических условий строительства. На рисунке 3.22 представлены варианты коллекторов, сооружаемых при закрытом (щитовом) способе.

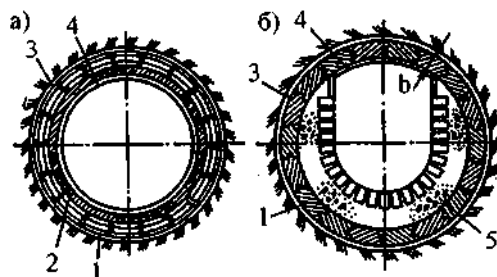


Рисунок 3.22 - Коллекторы, выполняемые при закрытом способе строительства: а - круглой формы; б - полукруглой формы с облицовкой кирпичом; 1 - керамические или бетонные блоки; 2 - железобетонная рубашка; 3 - цементный раствор, нагнетаемый за блоки; 4 - штукатурка с железнением поверхности; 5 - бетон

О степени распространенности различных видов труб можно судить по данным, приведенным в табл. 3.9..

Таблица 3.9 - Протяженности канализационной сети г. Москвы на 2001 г.

Материал труб канализационных сетей	% от общей протяженности	км
Керамические	38,4	2504,8
Асбестоцементные	21,2	1380,8
Чугунные	18,1	1182,1
Железобетонные	15,9	1040,5
Пластмассовые	3,8	247,5
Стальные	1,5	96,8
Кирпичные	1,1	72,4

Свыше 62% трубопроводов города имеют диаметр 150-250 мм, и поэтому в канализационных сетях в основном используют керамические, асбестоцементные и чугунные трубы. В последние годы стали шире использоваться пластмассовые трубы, особенно при реконструкции сетей.

Обеспечение целостности и устойчивости трубопроводов требует устройства под трубами оснований. Конструкция основания зависит от несущей способности грунта и его свойств, заложения и диаметра трубопровода и других факторов.

Трубопроводы в песчаных и глинистых грунтах с нормальным сопротивлением, равным или большим 0,15 МПа, могут укладываться на естественное основание. Однако под трубопроводы диаметром 350-600 мм основание следует профилировать по форме трубы с углом охвата 90°. В глинистых грунтах укладка труб должна производиться на песчаную подушку.

Если грунт основания имеет нормальное сопротивление 0,1 - 0,15 МПа, то керамические и асбестоцементные трубопроводы следует укладывать на монолитное бетонное основание, спрофилированное по форме трубы с углом охвата 90°. Под железобетонные трубопроводы также требуется устройство оснований с учетом несущей способности грунтов и других факторов.

Защита бетонных и железобетонных труб, коллекторов и сооружений может осуществляться применением специальных цементов, не подвергающихся коррозии, увеличением плотности и водонепроницаемости стенок труб и конструкций, покрытием бетонных поверхностей гидроизоляцией.

Гидроизоляция труб и сооружений выполняется со стороны действия воды или газа. Гидроизоляция бетонных поверхностей подразделяется на жесткую (цементная штукатурка с железнением, торкрет-штукатурка, облицовка керамическими или пластмассовыми плитами) и битумную. Битумная изоляция подразделяется на обмазочную, пластичную и оклеечную. Пластичная гидроизоляция выполняется из мастик, в состав которых входит 40% битума и 60% заполнителей (молотый мел, мелкий песок и др.). Оклеечная гидроизоляция выполняется из рулонных материалов (рубероид, пергамин и др.), наклеиваемых с помощью битумов и мастик на изолируемые поверхности.

Колодцы и камеры. Колодцы и камеры на трубопроводах располагают в местах изменения диаметров и уклонов трубопроводов, изменения направления их в плане и устройства присоединений к ним боковых веток, а также на прямолинейных участках труб через 35-300 м (с увеличением диаметра труб расстояние между колодцами увеличивается).

С учетом места устройства смотровые колодцы подразделяются на поворотные, узловые и линейные. Они служат для обеспечения доступа к трубопроводам, осмотра и наблюдения за ними и выполнения эксплуатационных операций на водоотводящих сетях.

Смотровые колодцы состоят из рабочей камеры, горловины и переходной части между ними, основания и люка с крышкой над горловиной (рисунок 3.23). В плане колодцы могут быть круглые, прямоугольные и полигональные.

Важнейший элемент колодца - основание. Оно должно обеспечивать устойчивость сооружения. В его конструкцию входит бетонный набивной лоток, обеспечивающий транспорт воды через колодец.

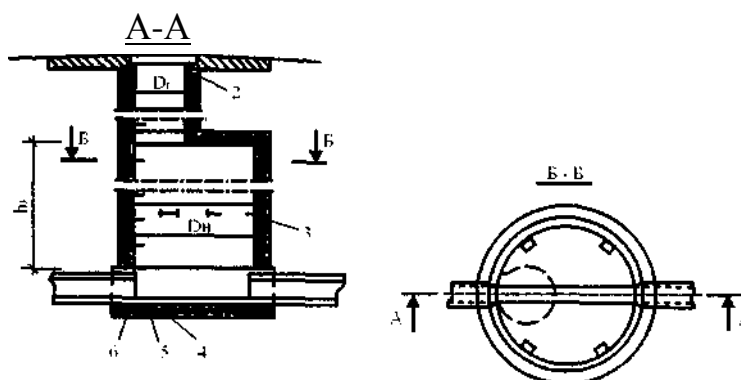


Рисунок 3.23 - Смотровой колодец: 1 - люк с крышкой; 2 - железобетонные кольца горловины; 3 - то же, камеры; 4 - бетон М 200 с затиркой; 5 - плита основания; 6 - песчаная подготовка

Лоток в нижней части имеет форму полукруга, а в верхней - вертикальные стенки (рисунок 3.24) Общая высота лотка должна равняться диаметру труб. С двух сторон лотка создаются полки, имеющие ширину не менее 200 мм и уклон к лотку не менее 0,02. Лотки поворотных колодцев и боковых присоединений следует выполнять по дугам окружностей с радиусом не менее одного диаметра.

Рабочая камера должна иметь следующие минимальные размеры: высоту - 1,8 м, диаметр - 1,0 м. Камеры узловых колодцев на трубопроводах больших диаметров целесообразно выполнять в плане полигональными с расположением стенок параллельно лоткам.

Минимальный диаметр горловины - 0,7 м. Рабочие камеры и горловины оборудуют скобами или лестницами для спуска в колодец и подъема из него. На уровне поверхности земли на горловины устанавливают люки с крышками, которые, как правило, выполняются чугунными.

На трубопроводах диаметром 1200 мм и более кривую поворота трубы следует принимать радиусом, равным не менее пяти диаметров трубы, и предусматривать колодцы в начале и конце кривой поворота.

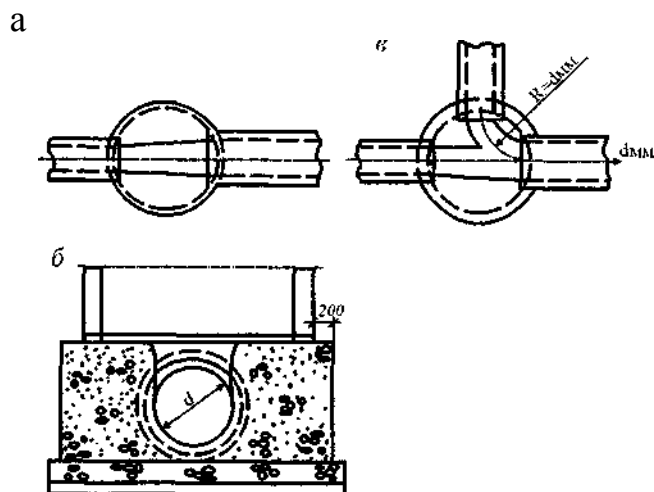


Рисунок 3.24 - Лотки смотровых колодцев: а - план лотка колодца при увеличении диаметра трубопровода; б - план узлового колодца; в - сечение линейного лотка

На коллекторах, строительство которых осуществляют закрытым способом (щитовой метод), необходимо устраивать смотровые шахты или скважины диаметром не менее 0,9 м. Расстояние между ними не должно превышать 500 м.

Стенки рабочих камер и горловин смотровых колодцев могут выполняться из бетона или железобетона монолитными или сборными, а также из кирпича на цементном растворе. Бетонные лотки оснований обычно устраиваются монолитными из бетона марки 200 по специальным шаблонам с последующей затиркой цементным раствором и железнением.

Особое значение следует придавать заделке труб в лотковой части. При наличии грунтовых вод необходимо предусматривать гидроизоляцию дна и стенок колодцев на высоту, превышающую на 0,5 м уровень грунтовых вод. При этом можно применять обмазочную и оклеечную битумную гидроизоляцию.

Сопряжение труб, уложенных на различной глубине, осуществляется с помощью перепадных колодцев. Необходимость применения их возникает в следующих случаях:

- при присоединении боковых веток к коллекторам или внутриквартальных сетей к уличным трубопроводам;
- при пересечении трубопроводов с инженерными сооружениями и естественными препятствиями;
- при устройстве затопленных выпусков воды в водоемы;
- при больших уклонах поверхности земли для исключения превышения максимально допустимой скорости движения сточных вод. По высоте перепадов колодцы подразделяют на перепадные колодцы малой (до 6 м) и большой высоты.

Перепадные колодцы всех конструкций могут быть подразделены на три типа:

- шахтного типа (с перепадами и без них);
- выполняемые по типу известных сопрягающих сооружений, применяемых в гидротехнической практике (быстротоки, водослив практического профиля);
- колодцы, гашение энергии в которых основано на соударении струй во-

ды со стенкой сооружения или специальной решеткой, а также на соударении струй воды, образующихся в результате разделения потока, в основании колодца.

Перепадный колодец шахтного типа малой высоты применяется на трубопроводах диаметром до 500 мм и представляет собой камеру, форма которой аналогична форме смотрового колодца, к которой пристроена или встроена шахта (стояк) круглого или прямоугольного сечения (рисунок 3.25).

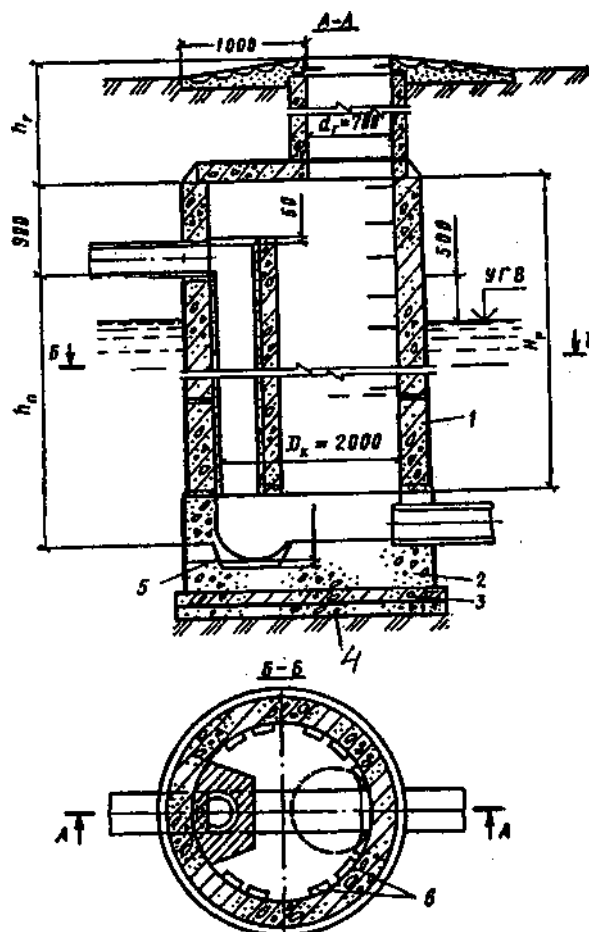


Рисунок 3.25 - Перепадный колодец шахтного типа для непросадочных мокрых грунтов: 1 - изоляция битумом; 2 - бетон марки М150 с затиркой поверхности; 3 - плита основания; 4 - бетон марки М100 по утрамбованному щебнем грунту; 5 - стальная плита; 6 - упорные скобы, заложённые в швы между железобетонными кольцами.

Высота не должна превышать 6 м. Сечение стояка не должно быть менее сечения подводящего трубопровода. Над стояком желательно выполнять приемную воронку в виде колена или иной формы, а в основании - водобойный приямок. Наличие воды в приямке обеспечивает смягчение удара потока в основание. В целях повышения устойчивости сооружения основание усиливается стальной или чугунной плитой под стояком.

При устройстве стояка до 300 мм допускается установка направляющего колена в его нижней части.

Перепадные колодцы рекомендуется выполнять из монолитного или сборного железобетона. Скорость движения воды в стояках достигает больших значений, поэтому требуется высокая прочность исполнения основания, стенок и

стояка колодцев.

Перепадный колодец шахтного типа с многоступенчатыми перепадами также имеет в своем составе шахту, но она перегорожена ступенями, чередующимися по всей высоте в шахматном порядке. Для повышения надежности сооружения целесообразно делать две шахты. Устройство водобойного колодца в основании не требуется. Соотношение геометрических размеров рекомендуется следующее:  $z = (0,5 - 2)B$  или  $z = (0,5 - 2)d$  (при круглом сечении шахты);  $a = B/2$ .

Расчет перепадного колодца следует выполнять исходя из возможности пропуска всего расхода по одной шахте, но при условии предельной нагрузки ее (максимальном напоре, равном  $z$ ). Размер отверстия между ступенями и стенками, площадь сечения которого равна  $\omega = aB$ , может быть определен по формуле истечения жидкости из отверстия

$$q = \mu\omega\sqrt{2gz},$$

$\mu$  - коэффициент расхода, равный  $\mu = \varphi\varepsilon$ , здесь  $\varphi$  - коэффициент скорости, равный 0,89;  $\varepsilon$  - коэффициент сжатия струи, определяемый по формуле А.Д. Альтшуля:  $\varepsilon = 0,57 + 0,043 / (1,1 - \Pi)$ ,

$\Pi = a/B$  - степень сжатия струи.

Разделительные камеры устраиваются при полной раздельной и полураздельной системах водоотведения. Места расположения и назначения их различны.

При полной раздельной системе разделительные камеры устраиваются:

– на дождевой сети в местах отводного коллектора или перед очистными сооружениями для сброса части дождевых вод в водоем при интенсивных дождях;

– на сооружениях для самостоятельной очистки дождевых сточных вод при необходимости разной степени их очистки.

При полураздельной системе водоотведения разделительные камеры устраиваются:

– на дождевой сети перед присоединениями ее к общесплавным коллекторам для сброса части дождевых вод при интенсивных дождях в водоем;

– перед очистными сооружениями для временного сброса части бытовых, производственных и дождевых сточных вод (при больших расходах последних) в регулирующие резервуары для последующей подачи на очистные сооружения.

Основные требования, предъявляемые к ливнеспускам, заключаются в следующем:

1) отвод без сброса наиболее загрязненной части поступающих к ливнеспуску сточных вод;

2) малая засоряемость сбросных и водоотводящих устройств.

Наиболее распространены разделительные камеры с боковым прямолинейным водосливом с односторонним сбросом, они состоят из лотка, одна сторона которого является водосливом.

Целесообразно гребень водослива выполнять металлическим и подвижным в вертикальных направляющих. Это позволит изменять высоту гребня водослива при наладке работы сооружений.

Разделительная камера с боковыми прямолинейными водосливами с двухсторонним сбросом состоит из лотка, обе стороны которого являются водосливами. На рисунке 3.26 показаны разделительные камеры различных конструкций.

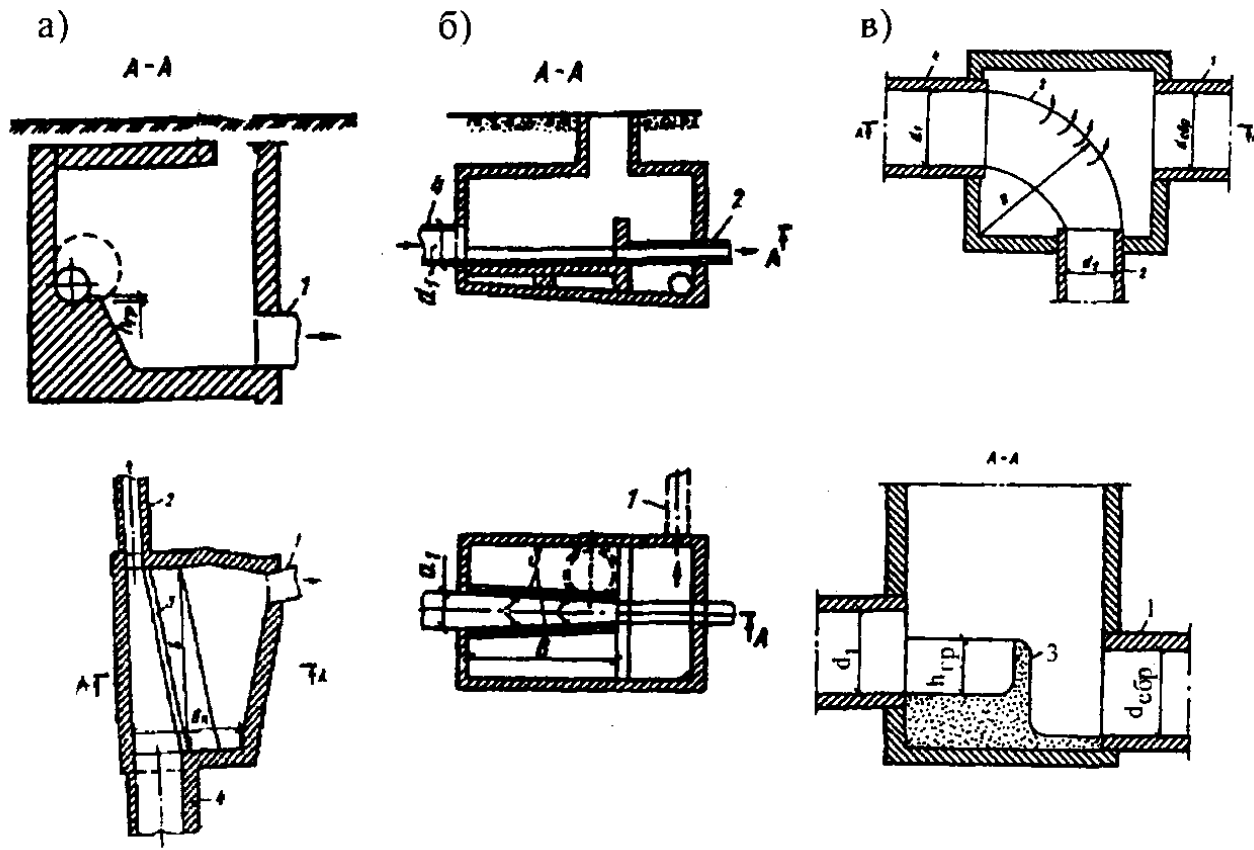


Рисунок 3.26 - Разделительная камера: а - с боковым прямолинейным водосливом с односторонним сбросом; б - с боковыми прямолинейными водосливами с двухсторонним сбросом; в - с боковым криволинейным водосливом; 1 - ливнеотвод; 2 - отводящий трубопровод; 3 - гребень водослива; 4 - подводящий трубопровод

Ливнеотвод (сбросной трубопровод) следует проектировать на полное заполнение с некоторым запасом. Шельга ливнеотвода и гребень водослива должны находиться на одной отметке.

### 3.8 Дюкеры

Самотечные трубопроводы часто пересекаются с различными естественными и искусственными препятствиями. К естественным препятствиям относятся ручьи, реки, овраги и т. п.; к искусственным - автомобильные и железные дороги, подземные коллекторы, трубопроводы различного назначения, кабели, пешеходные переходы, линии метрополитена и другие сооружения.

Конструкция пересечения зависит от взаимного высотного расположения трубопровода и препятствия.



Если трубопровод непосредственно пересекается с препятствием, т.е. трубопровод и препятствие расположены на одной и той же отметке или разность их незначительна, то пересечение выполняется в виде дюкера - напорного трубопровода, соединяющего два самотечных трубопровода. На рис. 3.27 показана схема дюкера через реку.

Дюкер состоит из следующих основных элементов: напорных трубопроводов, верхней и нижней камер. Напорные трубопроводы дюкера выполняются не менее чем из двух ниток стальных труб с усиленной антикоррозионной изоляцией. Диаметр их должен быть не менее 150 мм. Обе нитки должны быть рабочими. Лишь при небольших расходах допускается устройство дюкера с одной рабочей и одной резервной трубой.

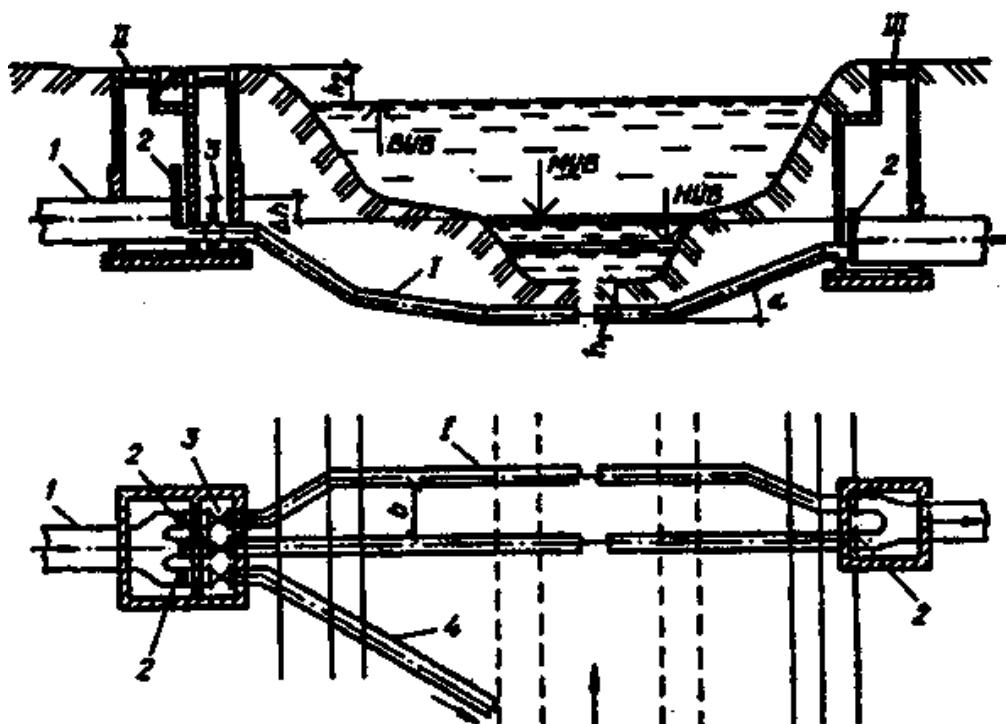


Рисунок 3.27 - Схема дюкера через реку: I - напорные трубопроводы; II - верхняя камера; III - нижняя камера; 1 - подводный самотечный трубопровод; 2 - щитовые затворы; 3 - задвижки; 4 - аварийный выпуск

Дюкер укладывается в траншее по дну русла. Угол наклона восходящей части дюкера должен быть не более  $20^\circ$ . Глубина заложения подводной части трубопровода должна приниматься не менее  $A = 0,5$  м до верха трубы, а в пределах фарватера на судоходных реках не менее  $h = 1$  м. Расстояние между трубами дюкера в свету должно быть не менее  $b = 0,7-1,5$  м. Аварийный выпуск может быть проложен из верхней камеры дюкера или из ближайшего колодца перед ним. Его устройство должно быть согласовано со всеми органами, осуществляющими контроль за охраной и использованием водоема.

Верхняя камера дюкера состоит из двух отделений: первого - мокрого и второго - сухого. Эти отделения разделяются между собой водонепроницаемой перегородкой. В пределах первого отделения самотечный трубопровод переходит в открытые лотки. Первое отделение может подтопляться водой при повы-

шенных расходах сточных вод, при снижении пропускной способности дюкера или при его промывке.

В окончании лотков перед трубами дюкера устанавливаются плоские затворы - шиберы. В сухом отделении размещаются напорные трубы дюкера с задвижками. При установке двух отключающих устройств в верхней камере повышается надежность регулирования работы дюкера в случае выхода из строя одной из ниток трубопровода.

Каждое отделение верхней камеры должно иметь горловину и заканчиваться люком с крышкой. Превышение люка камер над высоким уровнем вод в водоеме должно быть не менее  $h_2 = 0,5$  м.

Нижняя камера дюкера устраивается в виде одного отделения, где напорные трубопроводы переходят в открытые лотки, в начале которых должны устанавливаться щитовые затворы.

Камеры дюкера размещают на незатопляемой даже при высоком уровне воды в водоеме территории. Дюкеры должны располагаться в местах с устойчивым, неразмываемым руслом, на участках с минимальной шириной реки. Трубопроводы дюкера прокладывают перпендикулярно руслу реки для обеспечения минимальной длины труб. При большой протяженности дюкера на трубах следует устанавливать колодцы или камеры с ревизиями, а в пониженных местах - выпуски для опорожнения дюкера. Все линии дюкера принимают рабочими и рассчитывают на пропуск расхода

$$q_1 = q_p / n,$$

$q_p$  - расчетный расход через дюкер;  $n$  - число рабочих линий.

Диаметр труб определяют, исходя из условия обеспечения самоочищающих скоростей  $v > 1,0$  м/с, по формуле

$$d = \sqrt{4q_1 / \pi v}.$$

Вода в трубах дюкера движется с заданной скоростью в результате наличия перепада уровней воды  $\Delta h$  в верхней и нижней камерах, который принимается равным потерям напора в дюкере и вычисляется по формуле

$$\Delta h = h_1 + h_M = i l + \sum \xi_i (v_p^2 / 2g),$$

$h_1 = i l$  - потери напора по длине трубы;  $h_M$  - потери напора в местных сопротивлениях;  $i$  - гидравлический уклон (потери напора на единицу длины трубы);  $l$  - длина трубопроводов дюкера;  $v_p$  - скорость движения воды в трубах при расчетных условиях;  $g$  - ускорение свободного падения.

Сумма коэффициентов равна

$$\sum \xi_i = \xi_{вх} + \xi_{завд} + m \xi_{отв} + \xi_{вых},$$

$\xi_{вх}$ ,  $\xi_{завд}$ ,  $\xi_{отв}$ ,  $\xi_{вых}$  - коэффициенты местных сопротивлений соответственно на входе, в задвижке, в отводах и на выходе;  $n$  - число отводов.

Дюкер является коротким трубопроводом, в котором потери напора в местных сопротивлениях соизмеримы с потерями напора по длине труб, поэтому при определении потерь напора учитывают и местные сопротивления.

В случае выхода из строя одной нитки трубопровода дюкера, оставшаяся должна обеспечить пропуск всего расчетного расхода с учетом допустимого подпора. При подпоре будет происходить подтопление верхней камеры дюкера и лежащих выше участков подводных самотечных трубопроводов. Очевидно, что при подтоплении не должно происходить разлива сточной жидкости из камеры дюкера и смотровых колодцев. Подтопление трубопроводов не должно приводить к перебоям в пользовании системой водоотведения и вызывать затопления подвалов и других частей зданий и сооружений.

Дюкеры могут устраиваться и при пересечении самотечного трубопровода с автомобильными и железными дорогами, если они проходят в выемках. В этом случае трубопроводы прокладывают в футлярах (металлических или железобетонных) или осуществляется их бетонирование. В дюкеры под железными и автомобильными дорогами проектируются аналогично дюкерам через реки.

Если трубопроводы располагаются ниже препятствия, то пересечение выполняется в виде самотечного трубопровода из усиленных стальных или железобетонных труб, уложенных в футляре, непроходных или проходных туннелях. Глубина заложения трубы, футляра или туннеля должна быть не менее 1 м - при открытом способе производства работ и не менее 1,5 м - при закрытом. Длину футляра определяют, исходя из размеров препятствия. Поперечные размеры футляра и туннеля зависят от способов производства работ и размеров трубопровода.

Кожухи и туннели предназначены для предохранения рабочего трубопровода от нагрузок, возникающих при движении транспорта над ним. Одновременно кожух предохраняет дорогу от разрушения в случае аварии трубопровода. Футляры должны устраиваться с противокоррозионной изоляцией и защитой от электрохимической коррозии.

Футляры при бестраншейной проходке прокладывают прокалыванием, продавливанием или методом горизонтального бурения. Самотечные коллекторы большого поперечного сечения прокладывают под препятствием в туннелях.

Если трубопровод располагается значительно выше препятствия (при пересечении оврагов, суходолов), то пересечение выполняется в виде самотечного трубопровода, уложенного по эстакаде или существующему мосту в утепленном коробе.

При проектировании подводных трубопроводов следует учитывать профиль дна водоема; характерные уровни воды; максимальную толщину льда; силу воздействия волн и течений, а также предусмотреть возможность повреждения трубопровода якорными устройствами. Чтобы предотвратить осаждение взвешенных веществ и образование газов в подводных напорных канализационных трубопроводах, скорость воды в них должна поддерживаться не менее 1,0 м/с.

### 3.9 Насосные станции систем водоотведения

Классификация насосных станций. Насосные станции систем водоотведения - это комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий отведение сточных вод в соответствии с нуждами потребителя. Насосные станции обеспечивают подачу сточных вод на очистные сооружения, если рельеф местности не позволяет отводить эти воды самотеком. Строительство насосных станций позволяет также избежать большого заглубления самотечных коллекторов.

Тип насосной станции водоотведения определяется: глубиной заложения подводящего коллектора; объемом сточных вод, поступающих на насосную станцию; видом перекачиваемой сточной жидкости; гидрогеологическими условиями строительства; типом устанавливаемых насосных агрегатов и способом их управления.

По роду перекачиваемой жидкости насосные станции водоотведения делятся на четыре группы: для перекачивания бытовых сточных вод, производственных сточных вод, атмосферных вод и осадков, образующихся на очистных сооружениях.

К насосным станциям, перекачивающим производственные стоки, предъявляется ряд требований, учитывающих агрессивность сточной жидкости по отношению к бетону, чугуну, стали. Необходимо применять специальные насосы и устройства для периодической промывки установок чистой водой.

Насосные станции для перекачки атмосферных вод сооружают на сетях в тех случаях, когда отсутствует возможность их транспортировки самотеком к месту сброса.

Насосные станции для транспортировки осадков находятся в едином комплексе сооружений очистки сточной жидкости и обработки осадков. Они служат для перекачки сброшенного осадка и активного ила на сооружения для дальнейшей их обработки.

В зависимости от места расположения в общей схеме водоотведения города и выполняемых функций, станции могут быть:

*локальные* - предназначены для транспортировки сточных вод от отдельно стоящих зданий, административно-хозяйственных помещений, домов индивидуальной застройки в самотечные коллекторы;

*районные* - осуществляют транспортировку сточных вод от жилых микрорайонов из лежащих ниже коллекторов в лежащие выше;

*главные* - перекачивают сточную жидкость, отводимую со всей территории города на очистные сооружения.

В настоящее время при проектировании насосных станций водоотведения предусматривается строительство в едином комплексе с насосной станцией аварийно-регулирующих или аварийных резервуаров для сглаживания неравномерности притока сточных вод или обеспечения надежной работы системы водоотведения в аварийных ситуациях.

Состав оборудования, его конструктивные особенности, тип, количество основного и вспомогательного оборудования определяется, исходя из объема сточных вод, поступающих на насосные станции.

Насосные агрегаты для перекачки сточных вод. Конструктивные особенности насосных агрегатов обуславливаются составом перекачиваемой сточной жидкости, который характеризуется большим количеством крупных и мелких включений. Кроме этого в стоках содержится и песок, являющийся абразивным материалом.

Учитывая это, лопастям рабочего колеса придается более обтекаемая форма; на корпусе насоса для производства работ по очистке рабочего колеса предусмотрены люки-ревизии; рабочие колеса изготавливают из твердосплавных материалов, например, титана, или обрабатывают специальным покрытием, которое в значительной степени предохраняет рабочее колесо от абразивного износа; внутренняя полость корпуса защищена сменными дисками; улитки насосных агрегатов покрыты специальным твердосплавным составом для предохранения от абразивного износа.

Насосы для сточной жидкости выпускают следующих типов: СД - центробежные, СДС - свободно-вихревые. По расположению вала: горизонтальные, вертикальные (В), полупогружные (П). По уплотнению вала: сальниковое; торцовое; без уплотнения. По ступеням перекачки: одноступенчатые, двухступенчатые.

Динамические насосы типа СД и СДВ предназначены для перекачки городских и производственных сточных вод со следующей характеристикой сточной жидкости:  $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ ; рН = 6,0 - 8,5;  $t = 80^\circ\text{C}$ ; крупность абразивных включений до 5 мм и не более 1% по массе. Принципиальная схема центробежного насоса (рисунок 3.28) - широкое рабочее колесо с количеством лопаток от 2 до 5, что позволяет перекачивать сточную жидкость с крупными механическими примесями. Всасывающий патрубок насоса крепится к крышке корпуса на болтах, что позволяет производить замену рабочего колеса, не снимая насос с фундамента. На всасывающем патрубке насосов СД и СДС в нижней крышке корпуса предусмотрены люки-ревизии, через которые производится очистка рабочего колеса от отбросов. Для предохранения от износа в верхней и нижней крышках корпусов насосов типа СДВ устанавливают сменные защитные диски, изготовленные из твердых сталей или отбеленного чугуна. В крупногабаритных насосах СД и СДВ (от  $2400 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) покрывают антикоррозионными и антиабразивными материалами улитки и рабочие колеса, что в значительной степени удлиняет срок службы и предотвращает поверхность указанных узлов от износа.

Для перекачивания сточных вод, помимо насосов СД и СДВ, применяют погружные насосы отечественного производства: ГНОМ, ЭЦК и ЦМФ. Погружные насосы используются как для проведения аварийной откачки сточной жидкости, так и для стационарной установки на насосных станциях.

Насосные станции с погружными насосами значительно дешевле, как в строительстве, так и в эксплуатации, расходы снижаются до 40 - 50%. Технологическое оборудование. В помещении приемного резервуара насосной станции устанавливают решетки, на которых задерживаются отбросы, поступающие со сточной жидкостью. Ширина прозоров решетки зависит от производительности насосного агрегата, т.е. насосы малой производительности имеют меньшую ширину прозоров решетки. Изменение ширины прозоров сказывается на количестве задер-

жанных отбросов. Так, при уменьшении прозоров с 40 до 20 мм количество отбросов увеличивается в 2,5 раза.

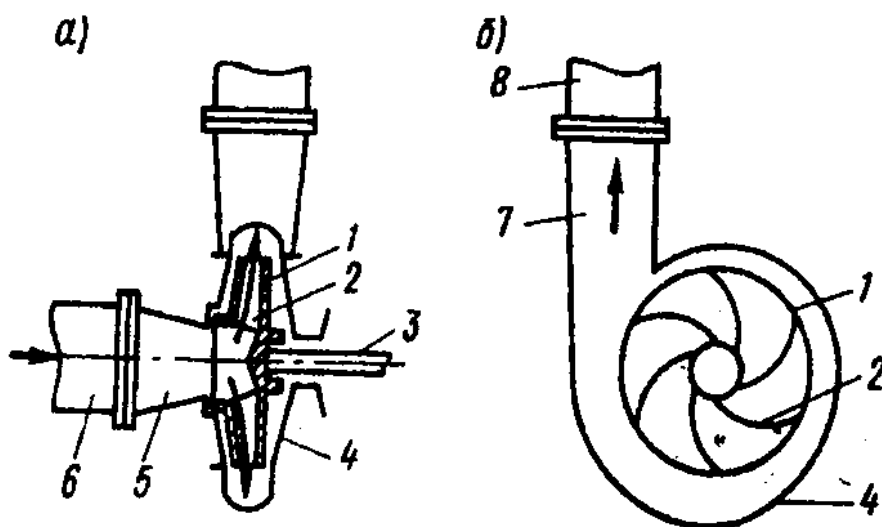


Рисунок 3.28 - Центробежный насос: а - продольный разрез; б - поперечный; 1 - рабочее колесо; 2 - лопасти рабочего колеса; 3 - вал; 4 - корпус; 5 - всасывающий патрубок; 6 - всасывающий трубопровод; 7 - напорный патрубок; 8 - напорный трубопровод

Съем отбросов, задержанных на решетках, производят с помощью механических граблей или вручную. Оператор на решетках производит сортировку мусора. Мусор, подлежащий дроблению, измельчают в дробилках и сбрасывают в подводный канал до места установки механических граблей. Мусор, не подлежащий дроблению, собирается в контейнеры, стоящие на отметке пола помещения механических решеток, а затем транспортируется на полигоны хранения твердых бытовых отбросов.

При проектировании насосных станций применяют 2 типа неподвижных решеток с очисткой их механическими граблями и выгрузкой задержанных отбросов на ленточный транспортер или на сортировочный стол.

Решетки московского типа устанавливают под углом 60 - 80° к горизонту и очищают граблями, которые движутся перед решеткой по течению сточной жидкости. Решетки ленинградского типа устанавливают под углом 60° к горизонту и очищают граблями, которые движутся за решеткой. На насосных станциях при количестве отбросов  $< 0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ , устанавливают решетки с ручной очисткой. Эти решетки не выпускают серийно, а изготавливаются непосредственно строительными организациями при строительстве насосной станции.

Для дробления отбросов, снятых с механических граблей, используются молотковые дробилки. Подаваемая в дробилку вода смывает измельченные отбросы и транспортирует их обратно в подводный канал.

Эффективным способом механической очистки сточной жидкости перед поступлением ее в насос является использование решеток-дробилок, которые задерживают и дробят отбросы под водой в потоке, проходящем через решетку.

К достоинствам решеток-дробилок следует отнести следующее: в одной установке совмещены функции механизированной решетки и дробилки; не нужны устройства для транспортирования и сортировки отбросов; установка ком-

пактна и проста в обслуживании; малая ширина щелей барабана позволяет применять низконапорные насосы для чистой воды, имеющие КПД на 10-15% больше, чем динамические насосы для сточных вод.

Решетки-дробилки могут устанавливаться и непосредственно на очистных сооружениях перед песколовками.

Затворы и обратные клапаны. Одним из важнейших элементов надежности работы насосных станций является запорно-регулирующая арматура: затворы, задвижки, обратные клапаны.

Затворы, монтируемые на насосных станциях, подразделяются на основные и ремонтные.

Основные затворы монтируют на подводящих каналах к насосным станциям. Они обеспечивают регулирование притока сточных вод, поступающих на насосные станции. Регулирование затвором производится дистанционно с диспетчерского пункта или вручную дежурным сменным инженером. На подводящих каналах насосных станций производительностью  $> 250$  тыс. м<sup>3</sup>/сут. устанавливается два щитовых затвора.

Ремонтные затворы служат для проведения работ по ремонту задвижек, расположенных на всасывающей линии на насосных станциях большой производительности. Эти затворы устанавливаются в помещении механических решеток, и они должны обеспечивать необходимую герметичность. В зависимости от типа насосной станции, показателей напора, глубины подводящего канала на насосных станциях применяются металлические затворы различных конструкций.

Затворы выполняются с ручным или электрическим приводом. Установка электрического привода обеспечивает оперативность работы по закрытию и открытию щитового затвора, который включен в оперативную систему автоматики с выводом на диспетчерский пункт насосной станции. Электродвигатели, установленные на щитовых затворах, запитаны от сети постоянного тока аккумуляторной, смонтированной на насосных станциях, и не зависят от энергоснабжения насосной станции.

Обратные клапаны предназначены для предотвращения образования обратного потока жидкости. Запорный орган в обратных клапанах открывается прямым потоком жидкости, а закрывается обратным потоком. В настоящее время при строительстве насосных станций используют однодисковые обратные клапаны с верхней подвеской. Обратный клапан с верхней подвеской (рисунок 3.27) выпускается промышленностью диаметром до 1000 мм. При проектировании насосных станций выбор типа обратного клапана определяется технико-экономическими расчетами. Наличие обратного клапана обеспечивает мгновенное отключение напорного трубопровода.

Тип грузоподъемных механизмов, устанавливаемых на насосных станциях, выбирают с учетом размещения насосного, технологического оборудования, запорно-регулирующих устройств, их размеров и максимального веса поднимаемого оборудования.

Для монтажа, демонтажа и ремонта оборудования, запорно-регулирующей арматуры и трубопроводов применяют грузоподъемные механизмы: тали ручные грузоподъемностью до 1 т; подвесные кран-балки грузоподъемностью до 5 т;

мостовые краны грузоподъемностью от 5 т и выше.

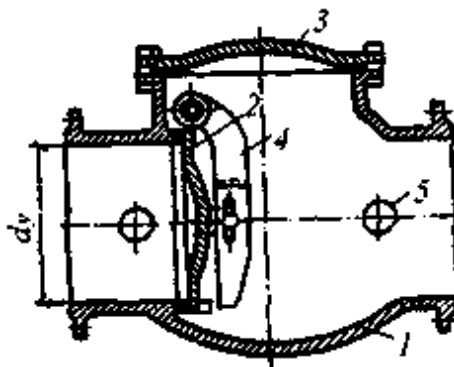


Рисунок 3.27 - Обратный клапан однодисковый с верхней подвеской тарели:  
1 - корпус; 2 - тарель клапана; 3 - крышка корпуса; 4 - рычаги; 5 - байпас

Насосные станции, осуществляющие перекачку сточных вод, по напряжению, подаваемому от источников энергоснабжения, подразделяются на 2 типа: насосные станции с напряжением до 1000 В (0,4 кВ), такие станции называют низковольтными; насосные станции с напряжением свыше 1000 В (10 кВ), такие станции называют высоковольтными.

На насосных станциях, оборудованных низковольтными электродвигателями, применяют магнитные и вакуумные контакторы для включения насосных агрегатов. Для включения различного вспомогательного оборудования применяют всевозможные магнитные пускатели и автоматические выключатели, разъединители. Для отключения от сети высокого напряжения различных аппаратов, приборов или отдельных участков цепи применяют разъединители.

Расположение насосных станций. Отвести воду к очистным сооружениям и обеспечить ее подачу на требуемую высоту или выпуск в водоем самотечными трубопроводами удается сравнительно редко. Для этого возникает необходимость в перекачке сточных вод насосными станциями, которые по напорным трубопроводам транспортируют воду в заданные места и на требуемые высоты. Число насосных станций, места их расположения и параметры работы устанавливаются при разработке схем водоотведения, выполнении гидравлического расчета трубопроводов и построении их продольных профилей.

Выбор числа и мест расположения насосных станций производят одновременно с выбором схем водоотведения и на основании экономического сравнения нескольких вариантов схем. Экономическое сравнение вариантов производят по приведенным затратам на стадии выполнения технического проекта.

Эти схемы разрабатывают на основании подробного анализа условий проектирования. Хотя расчет сети на этом этапе проектирования еще не возможен, разработка должна производиться с учетом экономических, экологических и санитарно-технических требований. Предварительный экономический анализ схем может производиться по соотношению укрупненных объемов строительных работ (соотношению длин и диаметров самотечных и напорных трубопроводов, глубин заложения самотечных трубопроводов или объемов земляных работ, числа



и глубин подземных частей насосных станций и др.) и основных параметров работы насосных станций.

Опыт проектирования показывает, что лучшими экономическими показателями отличаются схемы с районными насосными станциями, расположенными в начальной части коллекторов. Это объясняется малой мощностью РНС и существенным снижением заглубления главных коллекторов и ГНС, обычно диктуемым начальными участками сети, имеющими большие уклоны.

При выборе места расположения насосных станций и их числа необходимо учитывать характеристики выпускаемых промышленностью насосов. Окончательно место расположения насосных станций должно уточняться с учетом гидрогеологических условий и планировки кварталов, очередности строительства системы водоотведения, размещения подводящих самотечных трубопроводов, аварийных выпусков, напорных трубопроводов и других соображений. Насосные станции надлежит располагать в отдельно стоящих зданиях на расстоянии не менее 20 м от жилых домов и пищевых предприятий при их производительности до 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут и не менее 30 м при большей производительности. По периметру территории насосных станций необходимо предусматривать защитные зеленые насаждения шириной не менее 10 м. Не следует располагать насосные станции на проездах и набережных.

Насосные станции следует располагать на незатопляемой территории. Отметка порога у входа в них должна быть не менее чем на 0,5 м выше самого высокого уровня воды в водоеме с учетом нагона волны. Все подводящие самотечные трубопроводы перед насосной станцией должны объединяться в один, так как в насосную станцию допускается ввод лишь одного трубопровода.

Перед насосными станциями целесообразно предусматривать аварийные выпуски, использование которых возможно лишь в чрезвычайных случаях. Задвижки на аварийных выпусках должны пломбироваться. Места расположения насосных станций и возможность устройства аварийных выпусков должны согласовываться со службами контроля за качеством воды и охраны рыбных ресурсов.

Исходные данные для проектирования и расчета насосных станций. Для расчета насосной станции требуется знать расходы в отдельные часы суток и особенно максимальный, средний и минимальный расходы, а также геометрическую высоту подъема воды.

Расходы устанавливают по суммарной таблице притока всех видов сточных вод.

За расчетную отметку откачки уровня сточных вод принимают: отметку среднего уровня воды в приемном резервуаре; отметку уровня воды в подводящем коллекторе при минимальном притоке, если насосная станция не имеет регулирующего резервуара, что характерно для крупных насосных станций.

За отметку подачи сточных вод принимают: отметку верха (шелыги) напорного трубопровода в точке присоединения, если напорный трубопровод присоединяется к приемному колодцу или отводящему самотечному трубопроводу выше горизонта воды в них; отметку максимального расчетного горизонта при подаче под уровень воды (при расположении верха напорного трубопровода

ниже уровня воды); отметку верха трубопровода при прохождении им повышенного участка местности, имеющего отметку земли выше уровня воды в точке подачи.

Насосные станции могут подавать воду на очистные сооружения или перекачивать ее из бассейна в бассейн. Если насосная станция подает воду на очистную станцию, то в этом случае требуется определять отметку подачи воды. Очистные станции располагают в непосредственной близости к водоему. В процессе проектирования специально определяют взаимное высотное расположение отдельных сооружений, чтобы течение воды от сооружения к сооружению происходило самотеком. Лишь в редких случаях в пределах очистных сооружений прибегают к перекачке сточных вод. Для обеспечения самотечного движения сточной воды по очистным сооружениям и выпуска ее в водоем предусматривается определенный расчетный перепад воды между первым (головным) очистным сооружением и высоким уровнем воды в водоеме, равным величине общих потерь напора в пределах очистных сооружений и выпуска воды в водоем. Величина этого перепада зависит от числа, состава и конструкции очистных сооружений и выпуска.

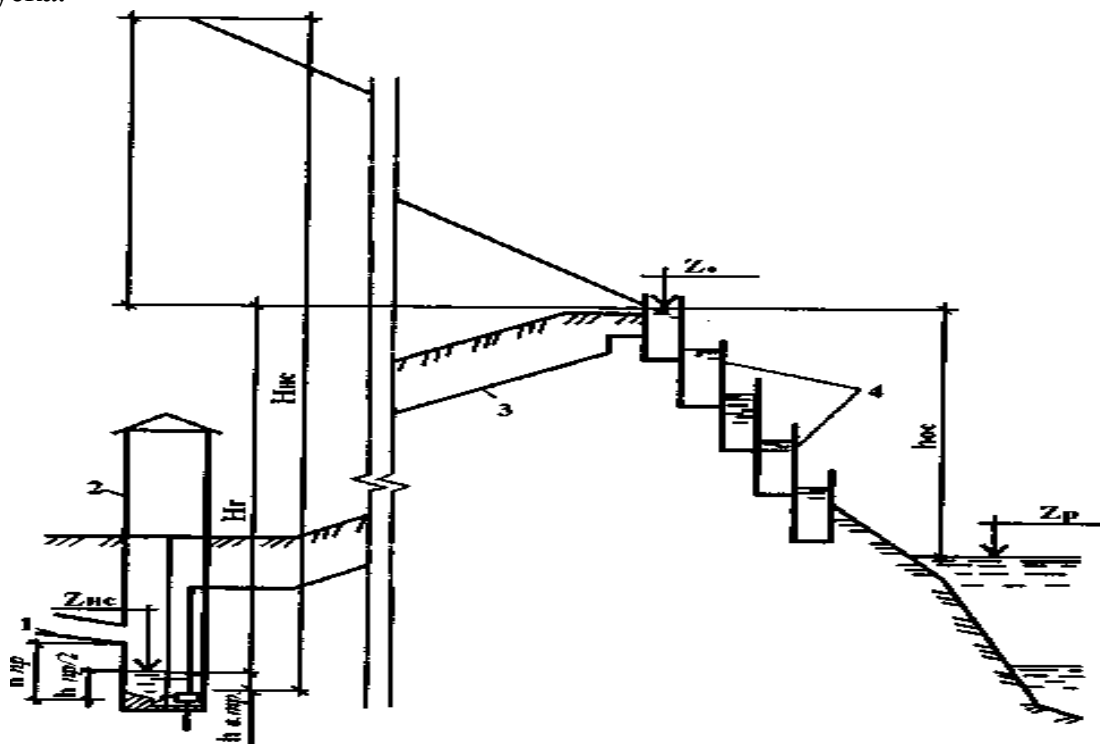


Рисунок 3.29 - Высотная схема расположения насосной станции и напорного трубопровода: 1 - самотечный подводный трубопровод; 2 - насосная станция; 3 - напорный трубопровод; 4 - очистные сооружения

Если насосная станция обеспечивает перекачку сточных вод из одного самотечного коллектора в другой, то уровень воды в самотечном трубопроводе в точке подачи воды и отметки подачи воды определяют по продольному профилю самотечного трубопровода.

Расчету насосной станции должно предшествовать определение диаметра напорных трубопроводов. Число напорных трубопроводов необходимо принимать не менее двух с устройством в случае необходимости между ними переключений. Скорость движения сточных вод следует принимать в напорных трубопроводах в

пределах насосных станций от 1 до 2,5 м/с, а за пределами их – 1,0 - 1,5 м/с; во всасывающих трубопроводах - 0,7 - 1,5 м/с.

Расчет насосных станций производят в следующем порядке: определение расчетного расхода; определение напора, который должна создавать насосная станция; подбор насосов по расходу и напору; построение характеристик (графиков) совместной работы насосов и напорных трубопроводов и определение рабочих точек.

По каталогам насосов для вычисленных расхода и напора производят подбор насосов с учетом следующих соображений: общую подачу рабочих насосов выбирают из условия перекачки максимального расчетного притока сточных вод; для станций средней и большой пропускной способности число и подачу насосов следует выбирать с учетом неравномерности притока сточных вод на станции (режим работы станции должен обеспечиваться с высоким КПД при максимальном, среднем и минимальном притоках).

Насосные станции общесплавной и полураздельной систем водоотведения целесообразно проектировать с двумя группами насосов. Одна группа предназначена для перекачки бытовых и производственных сточных вод в сухую погоду, а другая - для перекачки дождевых вод и включается в работу только во время дождя. Это объясняется большой разницей в расходе бытовых и производственных сточных вод и расходе дождевых вод.

Важнейший этап расчета - построение характеристик (графиков) совместной работы насосов и напорных трубопроводов. Он подробно рассматривается в специальном курсе «Насосы и насосные станции».

Насосные станции систем водоотведения создают сравнительно низкие напоры. При этом потери напора в коммуникациях насосных станций оказываются соизмеримыми с потерями напора во всем напорном трубопроводе. Поэтому необходимая точность расчета всей насосной станции требует особой тщательности в определении потерь напора в коммуникациях насосных станций. Следует также учитывать, что потери напора в коммуникациях насосных станций зависят от числа работающих насосов. Поэтому расчетный график, построенный для подачи нескольких насосов в общий напорный трубопровод, не может быть использован для определения рабочей точки в случае подачи иного числа насосов в этот же трубопровод. Особенно это важно для случаев, когда коммуникации насосных станций несимметричны..

Метод приведенных характеристик позволяет точно рассчитывать также работу двух расположенных в разных местах насосных станций в один напорный трубопровод. Подбор насосов и расчет напорных трубопроводов необходимо производить из условия обеспечения при аварии по одному трубопроводу пропуска 100 % расчетной подачи.

Для обеспечения указанных условий могут использоваться резервные насосы и переключения между напорными трубопроводами для выключения аварийного участка. Если по расчету выясняется, что указанные условия не соблюдаются, то определение диаметра трубопровода и подбор насосов, а также построение характеристик повторяют. Окончательный выбор трубопроводов и насосов должен быть сделан с учетом рассмотрения всех возможных вариантов и

технико-экономических показателей.

Насосные станции дождевой, общесплавной и полураздельной систем водоотведения следует рассчитывать из условия перекачки дождевых вод, равной расчетному притоку этих вод при периоде однократного переполнения, установленном для принятой системы водоотведения. Число насосных агрегатов для перекачки дождевых вод должно быть минимальным, резервные насосы не предусматриваются. При этом не предполагается регулирование дождевого стока перед насосной станцией.

Для перекачки больших расходов воды на небольшую высоту (2 -7 м) целесообразно применение шнековых насосов (подъемников). Следует, однако, иметь в виду, что отечественная промышленность серийно их не выпускает. Для перекачки небольших расходов воды эффективно применение пневматических установок. Для перекачки дождевых вод с большими расходами и малыми напорами весьма целесообразно применение осевых насосов марок О и ОП.

Более полного соответствия параметров притока сточных вод и откачки их насосами можно достичь в результате изменения характеристик центробежных насосов путем изменения частоты вращения или обточки колес насосов.

В машинном зале насосных станций, кроме насосов для перекачки сточных вод, устанавливаются насосы для подачи воды на технические нужды, вакуум-насосы, насосы для удаления дренажных вод, подъемно-транспортные устройства и контрольно-измерительные приборы. Насосы рекомендуется устанавливать под заливом.

Определение вместимости приемных резервуаров и особенности их устройства. Приемные резервуары насосных станций могут устраиваться совмещенными в одном здании с машинным отделением и отдельно стоящими. Вместимость приемных резервуаров надлежит определять с учетом притока сточных вод, подачи насосов и принятого режима их работы. Вместимость приемных резервуаров насосных станций для перекачки бытовых сточных вод должна быть не менее 5-минутной максимальной подачи одного из насосов. При крупных насосных станциях приемным резервуарам придают форму распределительного канала. Вместимость резервуаров определяется конструктивными соображениями - необходимой площадью и глубиной для размещения насосов, механических решеток и др.

Частое включение насосных агрегатов в работу усложняет эксплуатацию насосной станции и отрицательно сказывается на работе электроаппаратуры управления насосами и системы электроснабжения. Поэтому частота включения насосных агрегатов в течение 1 ч допускается не более 3 раз при ручном управлении и не более 5 раз - при автоматическом. Частота включения насосов зависит от вместимости приемного резервуара. Вместимость, вычисленная по 5-ти минутной максимальной подаче одного насоса, обычно рекомендуется проверять на соблюдение требований о числе включений насоса за 1 ч.

Таким образом, если вместимость приемного резервуара принимается равной 5-минутной максимальной подаче одного насоса, то при этом обеспечиваются условия по частоте включения насоса: не более 3 и 5 раз за 1 ч.

Приемные резервуары насосных станций полураздельных и общесплавных систем водоотведения выполняют с переливным устройством и разделительной стенкой на два отделения (одно для стока в сухую погоду, другое - во время дождя); возможна установка двух самостоятельных резервуаров. Вместимость приемных резервуаров или их отделений для притока в сухую погоду определяется так же, как и вместимость резервуаров насосных станций бытовой сети полной раздельной системы водоотведения. При дополнительном притоке во время дождя вместимость рассчитывается как для регулирующего резервуара.

Вместимость приемных резервуаров насосных станций дождевой сети рассчитывается так же, как вместимость регулирующего резервуара. Вместимость приемных резервуаров насосных станций дождевой сети, полураздельной и общесплавной систем водоотведения должна быть не меньше объема воды, поступающей за время, необходимое для запуска насоса с наибольшей подачей.

В приемных резервуарах насосных станций возможно выпадение осадка. Этим определяются особенности их устройства. Дно приемных резервуаров насосных станций бытовых сетей полных раздельных систем водоотведения должно иметь уклон к приямкам не менее 0,1. По периметру наружных стен резервуаров рекомендуется прокладывать трубопроводы, снабженные патрубками и присоединенные к напорному трубопроводу. С их помощью можно взмучивать и смывать осадок к приямкам. Кроме того, в помещении над резервуаром (помещении решеток) следует устанавливать поливочные краны, оборудованные шлангами с брандспойтами, которые также служат для взмучивания и смыва осадка в резервуарах. Одной из эффективных мер удаления осадка из резервуаров является обеспечение режима работы насосной станцией с периодическим полным опорожнением резервуара.

Напорные трубопроводы и аварийные выпуски. Число напорных трубопроводов от насосных станций следует принимать не менее двух с устройством в случае необходимости между ними переключений. Лишь при специальном обосновании допускается прокладка одного трубопровода. Напорные трубопроводы, как правило, должны выполняться из неметаллических труб (асбестоцементных, железобетонных, пластмассовых), внутри насосных станций трубопроводы - из стальных труб.

В высоких точках перегиба трубопровода необходимо устанавливать вантузы для выпуска и впуска воздуха, а в низких точках - выпуски для опорожнения трубопроводов при ремонтах и периодического сброса осадка. При повороте труб в горизонтальной и вертикальной плоскостях на угол более  $10^\circ$  следует устраивать упоры, конструкция и размеры которых должны определяться расчетом. Арматуру напорных трубопроводов надлежит располагать в колодцах или камерах.

Для предупреждения затопления помещения решеток в аварийных случаях на самотечных трубопроводах в колодце перед насосной станцией устанавливается затвор, а для сброса воды в водоем устраивается аварийный выпуск. В начале аварийного выпуска, в колодце, устанавливается задвижка. Приводы затвора на самотечном трубопроводе и задвижки аварийного выпуска механизмируются, а управление ими осуществляется с поверхности земли. Задвижка аварийного вы-

пуска должна быть опломбирована.

Устье аварийного выпуска располагается выше отметки высоких вод в водоеме для обеспечения спуска воды даже в период паводка. Оно обычно выполняется в виде берегового оголовка, но можно выносить его и на некоторое расстояние от берега.

К использованию аварийного выпуска можно прибегать лишь в исключительных случаях. Их устройство должно согласовываться с органами санитарно-эпидемиологической службы, службы охраны рыбных запасов, а также регулирования использования и охраны вод.

### 3.10. Конструирование насосных станций

Схемы и конструкции насосных станций зависят от гидрогеологических условий и глубины заложения станций, их пропускной способности, состава и свойств перекачиваемой жидкости, типа и числа устанавливаемого оборудования, особенностей расположения насосных агрегатов по отношению к уровню жидкости в резервуаре, системы управления агрегатов и др.

Насосные станции, как правило, располагаются в пониженных местах, имеют глубокое заложение, даже ниже уровня подземных вод. В этом случае целесообразно применение насосных станций шахтного типа, имеющих круглую в плане форму. Применение опускного способа строительства позволяет преодолевать трудности возведения сооружений, обусловленные сложными гидрогеологическими условиями и большой глубиной заложения. Круглая форма целесообразна и в конструктивном отношении.

Значительно упрощается схема и конструкция насосной станции, если она имеет небольшую глубину и возводится в сухих легких грунтах. Она может иметь прямоугольную форму, а резервуар совмещаться с машинным отделением.

Многообразие условий проектирования обуславливает применение разнообразных схем и конструкций насосных станций. Рассмотренными выше схемами станций не исчерпываются возможные их варианты. В зависимости от условий проектирования могут быть применены различные комбинации из описанных выше схем.

Насосные агрегаты и другое оборудование следует размещать таким образом, чтобы к ним был удобный подход для обслуживания. Целесообразна одно рядовая схема расположения насосных агрегатов с установкой их перпендикулярно стене, отделяющей машинный зал от приемного резервуара.

Размер насосных станций следует определяться, исходя из габаритов оборудования и величины проходов между ним, а также состава вспомогательных и бытовых помещений.

### 3.11 Общие требования по строительству и эксплуатации водоотводящих сетей

В период строительства новых и развития старых городов и мегаполисов их подземная инфраструктура, в том числе и водоотводящие сети, строились в основном открытым способом, при котором трубопроводы прокладывались на

требуемых отметках в открытых траншеях с их последующей засыпкой вынутым грунтом. В последнее десятилетие рост протяженности водоотводящих сетей замедлился, что связано с переходом от экстенсивного периода развития городов к их более плотной и многоэтажной застройке. В этих условиях основной задачей становится не строительство новых водоотводящих линий, а обеспечение надежной эксплуатации уже существующих подземных коммуникаций, что неизбежно связано с заменой, перекладкой и реконструкцией отслуживших свой нормативный срок и аварийных участков сетей.

По имеющимся данным следует, что из 400 тыс. км существующих в России канализационных сетей 108 тыс. км отслужили свой нормативный срок или находятся в аварийном состоянии и их ежегодный прирост составляет 8 тыс. км, в то время как ежегодно перекладывается лишь 2,2 тыс. км. Следовательно, вопросы перекладки сетей и поддержания их в работоспособном состоянии являются наиболее актуальными для коммунальных городских служб.

Однако в условиях современных городов, с их уплотненной застройкой, насыщенной подземной инфраструктурой и интенсивным движением автотранспорта, использование открытых способов прокладки трубопроводов становится не только затруднительным, но и практически невозможным. Аналогичная тенденция наблюдается в Европе и США, где в благоустроенных городах около 95% работ по прокладке и восстановлению подземных коммуникаций производится бестраншейным способом.

Основными бестраншейными методами прокладки и реконструкции подземных трубопроводов являются:

- щитовая проходка;
- микротоннелирование;
- горизонтальное направленное бурение;
- прокалывание, пробивка и продавливание;
- раскатывание.

Щитовая проходка представляет собой закрытый способ прокладывания тоннелей механизированными щитами диаметром 1,5-3,6 м с последующей укладкой в тоннелях труб требуемого диаметра и забутовкой свободного пространства. При проходке щитов в водонасыщенных и слабоустойчивых грунтах требуется проводить дорогостоящие операции по водопонижению, замораживанию или химическому укреплению. В застроенных городских районах производство щитовой проходки неизбежно связано с необходимостью ограничения движения транспорта.

Микротоннелирование осуществляется с помощью дистанционно управляемых комплексов, позволяющих проходить 10-15 м в сутки практически во всех горно-геологических условиях, в том числе водонасыщенных грунтах без водопонижения или закрепления грунтов. Фирма «Херренкнехт АГ» выпускает щиты для технологии микротоннелирования диаметром от 150 мм до 14,2 м, при использовании которых устраняется ручной труд в забое, механизмуется процесс прокладки труб, и все управление технологическим процессом осуществляет с централизованного пульта машинист. Допустимый зазор между прокладываемым

трубопроводом и расположенными в земле коммуникациями при этом методе составляет не менее 1 м, отклонения от проектных отметок не превышают 10-20 мм.

Горизонтальное направленное бурение при прокладке труб до 150 мм ведется с использованием раствора на основе бентонита или полимеров. Трубы большего диаметра прокладываются с помощью установок горизонтального шнекового бурения. Малые установки шнекового бурения с тяговым усилием 4 т позволяют прокладывать трубы диаметром до 300 мм и длиной до 50 м. Установки с тяговым усилием 30 т используют для прокладки труб диаметром до 500 мм на расстояние до 400 м.

Прокалывание и пробивка заключается в проходке горизонтальных скважин и затягивании в них труб (диаметром до 400 мм) с помощью пневмопробойников. Пневмопробойники имеют обтекаемый корпус, в котором размещены ударник и воздухораспределительный механизм, обеспечивающий как прямой, так и обратный ход пробойника. Проход пробойника происходит с достаточно высокой скоростью, их эксплуатация весьма проста.

Продавливание осуществляют путем забивки в грунт стальных трубопроводов диаметром 400 - 1400 мм с помощью пневмоударных машин.

Раскатывание используют для проходки и расширения существующих скважин за счет специальной раскатывающей головки, приводимой в движение буровым станком через наращиваемые буровые штанги. При вращении головки грунт вдавливается в стенки скважины и образуется устойчивая цилиндрическая полость, в которую затем при реверсе раскатчика затаскивается трубопровод. Соответствие оси раскатчика оси проектируемого трубопровода контролируют лазерной системой наведения.

Разработанные методы закрытой прокладки используют не только при строительстве новых трубопроводов, но и замене старых, аварийных участков сетей на новые. В России разработаны и серийно применяются пневмомолоты (таблица 3.10), которые используются вместе с расширителями (таблица 3.11) для разрушения подлежащего замене старого трубопровода.

Оборудование размещается в существующих колодцах и не требует устройства дополнительных шахт или котлованов.

Таблица 3.10-Технические характеристики серийных пневмомолотов

Параметр	Модели молотов			
	ЛГМ-125	ЛГМ-170К	МПС-62Б	МПС-65
Наружный диаметр корпуса, мм	129	170	185	240
Энергия удара,	120+10	300+ 25	450 +30	550+ 50
Частота ударов,	7,5+0,25	9,0+ 0,3	6,0 ±0,3	7,5 ±0,4
Расход сжатого воздуха, м/мин	3,0± 0,25	7.5 +0,5	8,0 +0,5	14,0 ±0,7
Длина, мм	1055	910	1080	995
Масса, кг	63	90	135	220



Пневмомолоты сконструированы по беззолотниковой схеме, обеспечивающей устойчивую работу, надежный запуск, одновременно позволяющий сделать машину достаточно простой по конструкции и относительно дешевой при промышленном изготовлении. Все машины рассчитаны на рабочее давление сжатого воздуха 0,6 МПа, но устойчиво работают и при падении давления до 0,35-0,40 МПа.

Таблица 3.11-Технические характеристики расширителей

Параметр	Модель расширителя				
	МПС-59	МПС-70	МПС-18	МПС-76	МПС-71
Наружный диаметр расширительной втулки, мм	210	265	262	360	360
Внутренний диаметр заменяемого трубопровода, мм	150	200-250	150-200	200-250	200-300
Прокладываемая труба	160-С	225-С	225-С	280-С	315-С

Важным составляющим элементом рабочего оборудования является конус-расширитель. Он состоит из 3-х элементов: расширительной втулки, которая насаживается на коническую головную часть корпуса пневмомолота; удлинителя, шарнирно прикрепленного к передней части пневмомолота и к тяговому тросу лебедки; конической втулки с ребрами-ножами, свободно посаженной на удлинитель и опирающейся задней частью в переднюю торцевую поверхность расширительной втулки. Удары пневмомолота через коническую поверхность корпуса передаются на расширительную втулку, а от нее через переднюю торцевую поверхность к конической втулке, которая разрушает старый трубопровод. Натяжение тягового троса обеспечивает надежный силовой контакт между всеми элементами рабочего оборудования. К расширительной втулке крепится первая секция заменяющей пластмассовой трубы.

Помимо рабочего органа, в комплект оборудования для бестраншейной замены канализационных трубопроводов входят тяговая лебедка и отклоняющий анкер.

Кроме того, были приняты во внимание такие вопросы, как единый вид энергоносителя (сжатый воздух), безопасность и др. Лебедка развивает тяговое усилие на барабане до 55 кН при скорости навивки каната до 0,03-0,04 м/с. Техническая производительность комплекта составляет 200-210 пог. м в месяц. В МГП «Мосводоканал» разработаны и успешно применяются технологии восстановления канализационных трубопроводов диаметром от 150 до 500 мм и от 500 до 1000 мм полимерным рукавом. Современная технология бестраншейного ремонта подземных безнапорных трубопроводов диаметром до 500 мм успешно применяется дочерним государственным унитарным предприятием «Сайт».

Технология позволяет в сжатые сроки восстановить трубопроводы диаметром от 150 до 500 мм и увеличить срок их службы. Санацию производят без вскрытия грунта и остановки движения городского транспорта. Рукав транспортируют в дефектный трубопровод прямым протаскиванием (с помощью лебедки), отвердение рукава происходит под действием пара. Под давлением пластиковый рукав плотно прилегает к поверхности поврежденной трубы, равномерно покрывая ее высокопрочным армирующим составом. Труба становится гладкой и полностью герметичной. Процесс осуществляется с применением оборудования отечественного производства. Высокая экономичность и простота восстановления городской канализационной сети привлекает как отечественных, так и зарубежных заказчиков. Метод хорошо зарекомендовал себя не только в Москве, но и во многих городах России.

Однако эта технология имеет ограничения по выполнению санации трубопроводов большого диаметра и значительной длины, так как из-за большого веса очень сложно транспортировать рукавную заготовку в трубопровод прямым протаскиванием.

В крупных городах остро стоит проблема восстановления трубопроводов до 1000 мм с длиной захвата от 100 пог. м и выше. В настоящее время специалисты «Сант» разработали технологии восстановления трубопроводов диаметром 400-1000 мм полимерным рукавом.

По данной технологии внутрь ремонтируемого участка вводится предварительно пропитанный рукав, который продвигается по трубопроводу с помощью гидростатического давления, создаваемого водяным столбом высотой от 3 до 8 м. Под действием давления воды пропитанный рукав равномерно и плотно прилегает к поврежденным стенкам трубопровода. Таким образом, производится восстановление всех повреждений трубопроводов любой формы и материала, из которого они сделаны. Как только рукав введен в поврежденный трубопровод, начинается процесс постепенного нагревания воды внутри него за счет циркуляции через бойлерную установку.

При реконструкции, санации и ремонте систем водоотведения необходимо оперативно отключать аварийные участки самотечной сети. Для этого используют специально разработанные фирмой АРКО (г. Омск) эластичные надувные пневмозаглушки, а на крупных коллекторах используют щитовые аварийные затворы.

## 4 ВОДООТВОДЯЩАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОТВОДА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

### 4.1. Системы дождевой канализации

Объемы выпадающих осадков измеряют высотой слоя воды  $h$  мм, выпавшей за определенный интервал времени, по площади водосбора. В России годовой слой осадков колеблется от 300 мм на севере до 2000 мм в южной субтропической зоне. В средней полосе европейской части этот показатель достигает 600-800 мм. Площадь водосбора - это часть земной поверхности и подстилающих ее почв и горных пород, откуда вода поступает к водным объектам, которые подразделяют на водотоки и водоемы.

*Водоток* - водный объект, характеризующийся устойчивым движением воды в направлении уклона водной поверхности. Водотоки бывают естественного и искусственного происхождения.

*Водоем* - водный объект в углублении земной поверхности, характеризующийся практическим отсутствием постоянного существенного уклона водной поверхности и наличием, в основном, волнового движения под действием ветра и конвективных токов воды. Водоемы бывают естественного и искусственного происхождения.

*Сток* - движение воды по поверхности земли и в грунте в направлении водного объекта. Поверхностный сток - сток дождевых, талых или поливных вод, происходящий по земной поверхности. Грунтовый сток - сток вод, попадающих в грунт с земной поверхности и перемещающийся в виде фильтрационного потока в направлении ниже расположенных водных объектов. Объем стока - объем воды, стекающий с водосбора за год ( $W$ , м /год). Модуль стока - объем воды, стекающий с единицы площади водосбора в единицу времени ( $\text{м}^3/\text{с с 1 га}$ ).

Расход дождевых вод  $Q$ , л/с, следует определять по формуле

$$Q = q_c \eta F ,$$

$q_c$  – интенсивность дождевого стока, л/с с 1 га;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя по площади, определяется по таблице 4.1;  $F$  – площадь стока, га.

Для расчета объемов атмосферных осадков используют параметр интенсивности дождя по объему  $q$ , выраженный в л/с с га.

Величину интенсивности дождя  $q$  описывают следующим эмпирическим выражением:

$$q = A/t^n ,$$

$A$  - многофакторный безразмерный параметр, зависящий от географического положения местности и метеорологических условий;  $t$  - продолжительность дождя, мин;  $n$  - метеорологический параметр.

Таблица 4.1- Неравномерность выпадения дождя по площади

Площадь стока, га	50	100	200	300	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	20000	30000
Значение коэффициента $\eta$	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,86	0,83	0,80	0,78	0,73	0,68	0,65

Величину А рекомендуется определять по формуле:

$$A=q_{20} \cdot 20^n (1+\lg P/\lg m_r)^\gamma,$$

$q_{20}$  - интенсивность дождя (л/с с га) для данной местности, продолжительностью 20 минут при  $P = 1$  год;  $P$  - период времени в годах, в течение которого дождь расчетной интенсивности будет превышен 1 раз (таблицы 4.2 и 4.3);  $m_r$  - среднее число дождей в год;  $\gamma$ - метеорологический параметр (таблица 4.4).

Таблица 4.2-Величины периодов однократного превышения расчетной интенсивности дождя для населенных пунктов

Условия расположения коллекторов		Период однократного превышения расчетной интенсивности дождя $P$ , годы, для населенных пунктов при значениях $q_{20}$			
На проездах	На магистральных улицах	до 60	60-80	80- 120	более 120
Благоприятные и средние	Благоприятные	0,33-0,5	0,33-1	0,5-1	1-2
Неблагоприятные	Средние	0,5-1	1-1,5	1-2	2-3
Особо неблагоприятные	Неблагоприятные	2-3	2-3	3-5	5-10
-	Особо неблагоприятные	3-5	3-5	5-10	10-20

Наиболее существенное влияние на расчетную величину интенсивности дождя оказывает выбор величины периода однократного превышения расчетной интенсивности  $P$ , иначе называемой периодом однократного переполнения водоотводящей сети.

Принятие  $P \rightarrow \infty$  приведет к значительному завышению размеров и стоимости водоотводящей сети. Поэтому выбор расчетной величины  $P$  следует производить с учетом обеспечения минимума затрат на строительство и эксплуатацию системы водоотведения и устранения ущерба от подтопления жилых районов и

промышленных предприятий атмосферными осадками. Возможные значения Р приведены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.3- Величины периодов однократного превышения расчетной интенсивности дождя для промышленных предприятий

Результат кратковременного переполнения сети	Период однократного превышения расчетной интенсивности дождя Р, годы, для территории промышленных предприятий при значениях q <sub>20</sub>		
	до 70	70 - 100	более 100
Технологические процессы предприятия: не нарушаются	0,33-0,5	0,5-1	2
нарушаются	0,5-1	1-2	3-5

Однако не весь объем выпавших атмосферных осадков достигает водоотводящей сети.

Коэффициент стока ψ представляет собой отношение расхода воды, достигшей водостока q<sub>в</sub>, к расходу выпавших осадков q<sub>г</sub>.

Коэффициент стока зависит от вида покрытия поверхности, интенсивности и продолжительности дождя и описывается формулой:

$$\psi_{mid} = Z_{mid} \cdot q^{0,2} \cdot t^{0,1}$$

Z<sub>mid</sub> - средневзвешенный коэффициент покрова, принимаемый по таблице 4.3 с учетом фактической доли каждого вида покрытия (таблица 4.4).

Для водонепроницаемых поверхностей (кровли и асфальтовые покрытия) величину Z принимают в зависимости от параметра А :

А...	300	400	500	600	700	800	1000	1500
Z...	0,32	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23

$$Z_{mid} = \sum f_i \cdot Z$$

Следовательно

$$\psi_{mid} = Z_{mid} \cdot A^{0,2} / t^{0,2 \cdot n - 1}$$

При больших площадях стока учитывают неравномерность выпадения дождя с помощью коэффициента простираемости дождя К по поверхности земли:

Р га...	500	1000	2000	4000	6000	8000	10000
К ...	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,55

Однако городская водосточная сеть принимает не только поверхностные стоки от атмосферных осадков и декларируемые сбросы промышленно-ливневых сточных вод. Фактически городская водосточная сеть является одновременно и дренажной, обеспечивая отвод значительной части грунтовых вод как природного, так и антропогенного происхождения. Это обусловлено наличием значительного числа неплотностей как в стыковых соединениях водосточных труб, так и в

смотровых и дождеприемных колодцах.

Таким образом, поступление грунтовых вод в водосточную сеть является неизбежным и должно учитываться при расчете и проектировании сети, которая фактически является дренажно-водосточной системой водоотведения с городских территорий.

Таблица 4.4 - Величины метеорологических параметров

Район	Значение n при		m <sub>r</sub>	γ
	P>1	P<1		
Побережье Белого и Баренцева морей	0,4	0,35	130	1,33
Север европейской части и Западной Сибири	0,62	0,48	120	1,33
Равнинные области запада и центра европейской части	0,71	0,59	150	1,54
Возвышенности европейской части, западный склон Урала	0,71	0,59	150	1,54
Нижнее Поволжье	0,66	0,66	50	2
Наветренные склоны возвышенностей европейской части и Северное Предкавказье	0,7	0,66	70	1,54
Ставропольская возвышенность, северные предгорья Кавказа, сев. склон Большого Кавказа	0,63	0,56	100	1,82
Южная часть Западной Сибири	0,72	0,58	80	1,54
Средняя Сибирь	0,69	0,47	130	1,54
Восточная Сибирь	0,6	0,52	90	1,54
Бассейны Шилки и Аргуни, долина Среднего Амура	0,65	0,54	100	1,54
Бассейны Колымы и рек Охотского моря, сев. часть Нижнеамурской низменности	0,36	0,48	100	1,54
Побережье Охотского моря, бассейны рек Берингова моря, центр и запад Камчатки	0,35	0,31	80	1,54
Восточное побережье Камчатки южнее 56° с.ш.	0,28	0,26	НО	1,54
Бассейны рек Японского моря, о. Сахалин, Курильские о-ва	0,28	0,44	ПО	1,54
Черноморское побережье и зап. склон Большого Кавказа	0,28	0,58	90	1,54
Побережье Каспийского моря и равнина Дагестана	0,28	0,43	60	1,82

Природная составляющая грунтового стока включает:

- грунтовый сток от профильтровавшихся в грунт дождевых и талых вод;
- естественная разгрузка артезианских водоносных горизонтов через верхние слои грунта.

Антропогенная составляющая грунтового стока включает:

- потери в сетях водопровода, канализации и теплоснабжения;
- аварийные сбросы из водопровода и канализации;

– водоотлив при осушении строительных котлованов.

Таблица 4.5 Значения коэффициента покрова  $Z$  для различных поверхностей

Вид поверхности	
Брусчатые мостовые	0,224
Бульжные мостовые	0,145
Щебеночные покрытия	0,125
Гравийные садово-парковые дорожки	0,09
Грунтовые поверхности	0,064
Газоны	0,038

Таблица 4.6 Определение средневзвешенного значения коэффициента покрова  $Z_{mid}$

Вид покрытия	Доля покрытия в общей	$Z$	$f_i \cdot Z$
Кровля и асфальт ( $A=400$ )	0,25	0,3	0,075
Газоны	0,35	0,038	0,013
Грунтовые поверхности	0,25	0,064	0,016
Гравийные дорожки	0,15	0,09	0,014

Однако, в отличие от поверхностного стока, надежных методик расчета грунтового стока, особенно его антропогенных составляющих, в городских условиях нет. Расчеты грунтового стока базируются, как правило, на экспертных оценках. В таблице 4.7 приведены среднегодовые расходы суммарного поверхностного и грунтового стока с территории г. Москвы, определенные на основе экспертных оценок. Из данных, приведенных в этой таблице, следует, что антропогенная составляющая стока в Москве составляет около 50% общего стока с территории города.

Вместе с тем гидравлический расчет водосточной сети ведется с учетом принятого периода однократного переполнения  $P$  на пропуск максимально секундных расходов воды, в которых преобладающее значение имеет поверхностный сток.

Величина грунтового стока и промышленных сбросов в сухой период, называемая базисным стоком, в периоды выпадения сильных дождей относительно невелика и составляет 10-20% от максимально секундного расхода стоков.

Таблица 4.7-Объем стока с территории г. Москвы на основе модуля стока по расходам воды в реках для среднего по водности года

Составляющая компонентов питания рек	Модуль стока $M^3/C$ $1000km^2$	Объем стока в среднем по водности году, млн. м
Поверхностный сток от атмосферных осадков	4,6	151,0
Грунтовый сток от атмосферных осадков	2,0	65,5

Продолжение таблицы 4.7

Потери в сетях трубопровода, теплоснабжение и канализация	3,0	98,5
Аварийные и технологические сбросы из водопровода и канализации	3,5	115,0
Поливо-моечные воды	0,1	3,15
Промышленные сбросы	3,4	108,0
Всего	16,6	541,1

#### 4.2. Схемы дождевой сети

При образовании и последующем развитии городов коренным образом меняются условия отвода поверхностного и грунтового стока с водосборных территорий. В естественных условиях дождевые и талые воды стекают по склонам, образуя ручьи и реки, которые впадают в более крупные реки. Одновременно тальвеги и долины ручьев и рек дренируют окружающую территорию, принимая грунтовый сток. В пониженных местах рельефа с затрудненным естественным отводом воды образуются водоемы в виде прудов и заболоченных участков земли, играющие роль регулирующих резервуаров.

При развитии города происходит трансформация рельефа, которая может существенно изменить естественные условия приема и отвода атмосферных осадков:

- значительная часть территории покрывается водонепроницаемыми покрытиями (крыши зданий, тротуары, улицы, площади, дороги и автостоянки);
- засыпаются естественные котлованы и тальвеги;
- прокладываемые улицы и дороги трансформируют естественную гидрографическую сеть на городских территориях.

Проектируемая городская водосточная сеть предназначена для отвода выпадающих атмосферных осадков и части грунтовых вод с целью предотвращения подтопления и затопления городских территорий, подземных коммуникаций и сооружений города.

Сеть проектируется как система самотечных трубопроводов, прокладываемых с максимальным использованием существующего уклона поверхности городских территорий.

Схема водосточной сети выбирается с учетом следующих основных факторов:

1. Учет очередности строительства, возможность поэтапного ввода в эксплуатацию водоотводящей сети.
2. Максимальное сохранение природной гидрографической сети города, т.е. использование тальвегов и русел ручьев и рек для прокладки коллекторов, а существующих водоемов в качестве регулирующих резервуаров.
3. Обеспечение территориального расположения проектируемых (одновременно или позднее) очистных сооружений и регулирующих резервуаров атмосферных осадков.



4. Нежелательность использования дюкеров на водосточной сети.
5. Трассирование водосточной сети с учетом существующей и особенно перспективной планировки улиц, дорог и автострад города, исключая дорогостоящую перекладку коллекторов при строительстве подземных переходов, развязок и других заглубленных транспортных сооружений.
6. Необходимость размещения мест депонирования снега, убираемого с городских улиц, с последующей очисткой стока талых вод перед их сбросом в реки и водоемы.
7. Исключение устройства (или минимизация количества) насосных станций для перекачки воды, отводимой водосточной сетью.
8. Минимизация количества выпусков водостоков в водоемы для обеспечения мониторинга качества сбрасываемых стоков в режиме реального времени и сокращения затрат на сооружение этих дорогостоящих гидротехнических сооружений.

При проектировании водосточной сети наиболее предпочтительной становится децентрализованная схема трассировки сети с прокладкой перехватывающих водосточных коллекторов по тальвегам и забором ручьев и малых рек в коллекторы.

При проектировании водосточной сети города происходит целенаправленная трансформация естественной гидрографической сети города в коллекторно-речную систему, обеспечивающую, наряду с отводом поверхностного стока от выпадающих атмосферных осадков, дренаж и отвод грунтовых вод с городских территорий.

Выбор схемы водосточной сети диктуется рельефом и гидрогеологическими условиями городской территории, санитарным состоянием и перспективой рекреационного использования ее рек и водоемов и производится на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов схемы водоотведения.

Разработка схемы ведется на плане города (масштаб от 1:2000 до 1:10000). На схему наносят границы бассейнов водоотведения, трассируют коллекторы и водоотводящую сеть. Намечают места расположения регулирующих резервуаров, очистных сооружений и выпусков в реки и водоемы. На схеме фиксируют границы и длины расчетных участков.

Водосточные сети прокладывают, как правило, во вторую очередь, когда водопроводные и водоотводящие сети уже построены и их расположение принимается во внимание при трассировании водостоков. Водосточные коллекторы прокладывают обычно вдоль оси улиц, с подключением к нимждеприемников, располагаемых вдоль бордюрного камня в месте сопряжения дорожного полотна и тротуара.

Дождеприемники представляют собой камеры, перекрытые чугунными решетками на уровне покрытия дороги (рисунок 4.1).

В плане дождеприемники могут быть круглые диаметром 700 или 1000 мм и прямоугольные 600х900 мм. Они выполняются из кирпича, бетона или железобетона. Вода из дождеприемника по соединительной ветке отводится в водосток. Соединительные ветки располагают ниже глубины промерзания.

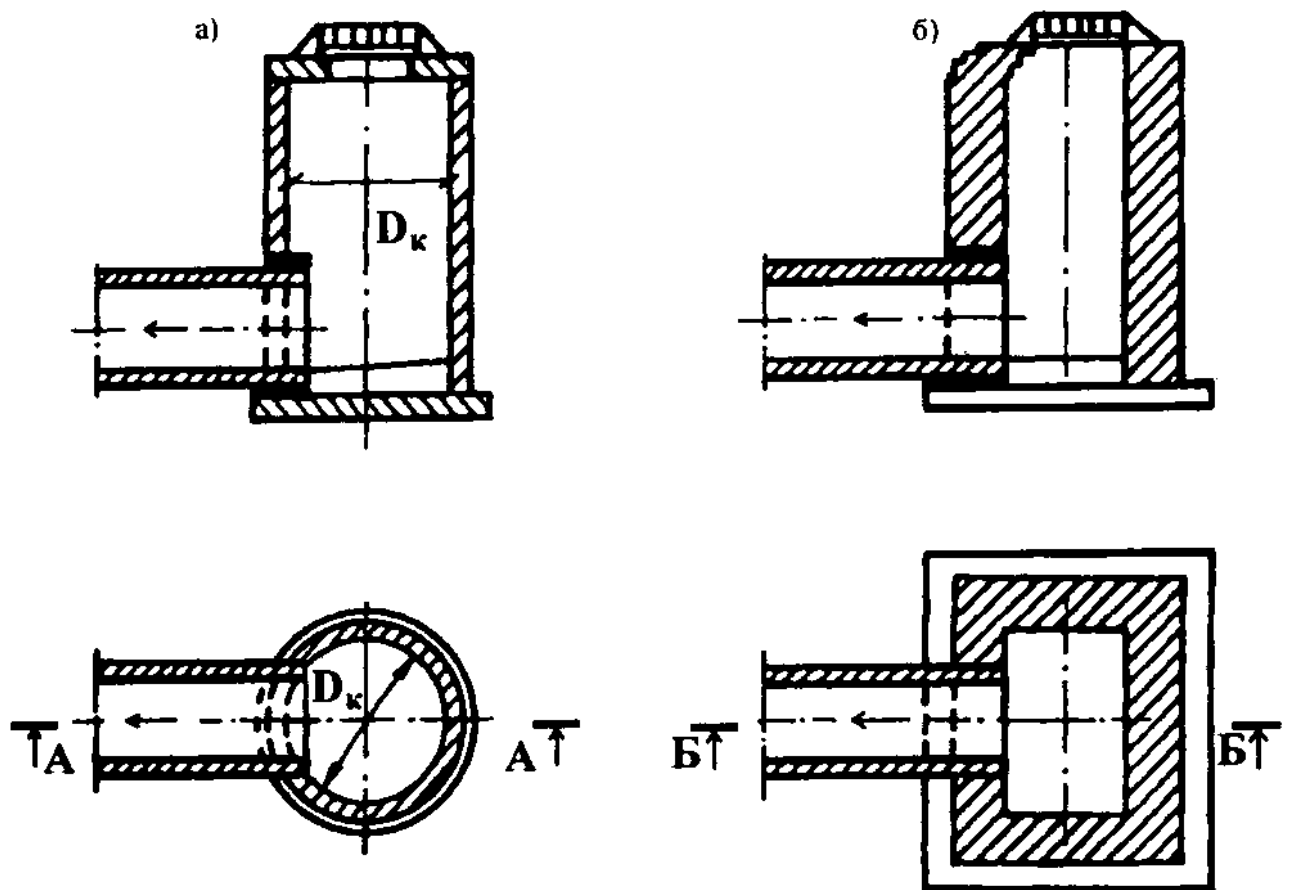


Рисунок 4.1. Дождеприемники: а - круглые, железобетонные; б - прямоугольные, кирпичные

Дождеприемники следует устанавливать:

- на затяжных участках спусков через определенные расстояния, определяемые расчетом, исходя из максимальной ширины потока в лотке перед решеткой, равной 1 м;
- на перекрестках и пешеходных переходах со стороны притока поверхностных вод;
- в пониженных местах при пилообразном профиле лотков улиц;
- в пониженных местах площадей, дворовых и парковых территорий,
- площадок парковки автомобилей.

Разработанная и согласованная схема водоотведения является основой для гидравлического расчета водоотводящей сети.

### 4.3. Гидравлический расчет водоотводящей сети

Расчет водоотводящей сети должен производиться на максимальный расход, соответствующий критической продолжительности дождя. Критическая продолжительность дождя равна времени добега воды от наиболее удаленной точки площади стока до расчетного участка и определяется по формуле:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p,$$

$t_{con}$  - время поверхностной концентрации, принимаемое при наличии внутриквартальной сети - 5 мин., при ее отсутствии - 10 мин.;  $t_{can}$  - время

пробега воды по уличному водосточному лотку;  $t_p$  - время пробега воды по трубопроводам водоотводящей сети.

Время пробега воды по водосточному лотку определяется по формуле:

$$t_{can} = 1,25 \cdot l_{can} / (v_{can} \cdot 60), \text{ мин}$$

$l_{can}$  - длина лотка, м,  $v_{can}$  - скорость движения воды в конце лотка, м/с, 1,25 - коэффициент, учитывающий, что средняя скорость воды по длине лотка меньше, чем в его конце.

Время движения воды по трубопроводам водоотводящей сети следует рассчитывать по формуле:

$$t_p = \sum l_p / (v_p \cdot 60), \text{ мин},$$

$l_p$  - длина расчетных участков сети, м;  $v_p$  - скорость движения воды на соответствующих участках, м/с.

С учетом не сложных преобразований расчетное уравнение приобретает следующий вид:

$$t_r = t_{con} + 1,25 \cdot l_{can} / (v_{can} \cdot 60) + \sum l_p / (v_p \cdot 60), \text{ мин}.$$

Формула для определения расхода дождевых вод приобретает вид:

$$q_r = \frac{Z_{mid} \cdot A^{1,2} \cdot F \cdot K}{t_r^{1,2n-0,1}}$$

При  $t_r < 10$  мин в формулу следует вводить поправочный коэффициент 0,9 при  $t_r = 1$  мин и 0,8 при  $t_r = 5$  мин.

Расчетный расход при подборе диаметра трубопроводов корректируют с учетом наличия свободной емкости водосточной сети перед началом дождя расчетной интенсивности

$$q_{cal} = \beta \cdot q_r,$$

$\beta$  - коэффициент, учитывающий степень заполнения сети в зависимости от параметра  $n$

$n \dots < 0,4$	0,5	0,6	$> 0,7$
$\beta \dots$	0,8	0,75	0,7
		0,7	0,65

При уклонах поверхности земли 0,01 - 0,03 значения коэффициента  $\beta$  следует увеличивать на 10-15%.

Рассчитанные водосточные сети проверяют на пропуск расходов талых вод в весенний период снеготаяния. Продолжительность снеготаяния составляет около 10 ч в день.

Для определения расхода талых вод используют формулу:

$$q = 5,5 / (10 + T) \cdot h_c \cdot K \cdot F, \text{ л/с},$$

$T$  - продолжительность добега талой воды до расчетного створа, ч;  $h_c$  - слой талого стока за 10 дневных часов, мм (таблица 4.7);  $K$  - коэффициент, учитывающий частичный вывоз и окучивание снега,  $K = 0,4 - 0,7$ ;  $F$  - площадь стока, га.

Таблица 4.7-Слой талого стока  $h_c$  за 10 часов

Район отведения талых вод	Слой талого стока при $P = 2$ года, мм	Слой талого стока при $P = 5$ лет, мм
Средняя полоса южнее Москвы, Новосибирска, Иркутска	25	31
Севернее Москвы, Новосибирска, Иркутска до Полярного круга	20	25
Крайний Север	15	19
Юг Сибири и степные районы европейской части	7	16

#### 4.4 Очистные сооружения на водостоках

Поверхностные сточные воды с внеселитебных территорий (промышленных предприятий, складских хозяйств, автохозяйств), а также с особо загрязненных участков, расположенных на селитебных территориях городов (бензозаправочные станции, стоянки автомашин, крупные автобусные станции), должны подвергаться очистке на локальных или кустовых очистных сооружениях перед сбросом их в водоемы или сеть дождевой канализации.

Количество загрязнений в поверхностном стоке рекомендуется принимать по таблице 4.8, при этом расчетные показатели допускается уточнять в зависимости от местных условий и характеристик поверхностного стока по отдельным видам (дождевые, талые, моечные воды) с учетом возможного изменения загрязненности поверхностного стока, зависящего от места отбора проб (улицы магистральные, местные; внутриквартальные территории) и характера стока (интенсивность, продолжительность, начало, середина, конец стока, продолжительность сухого периода).

Очистные сооружения должны размещаться на устьевых участках главных коллекторов дождевой канализации перед выпуском в водоем. В случае, когда по условиям сложившейся застройки такое размещение не представляется возможным, очистные сооружения должны располагаться выше по течению или на наиболее крупных притоках к главному коллектору дождевой канализации.

В этих случаях с части водосборного бассейна поверхностный сток сбрасывается в водоем без очистки.

Таблица 4.8 - Количество загрязнений в поверхностном стоке

№ п / п	Характерные зоны в водосборном бассейне	Количество загрязнений в поверхностном стоке для расчета очистных сооружений								
		Взвешенные вещества, мг/л			Эфирорастворимые вещества, мг/л			Плавающий мусор, м <sup>3</sup> /1000 га		
		дождевые воды	талые воды	моечные воды	дождевые воды	талые воды	моечные воды	дождевые воды	талые воды	моечные воды
1	Жилые кварталы и микрорайоны	250	350 0	200	35	40	75	0,1	0,3	0,1
2	Территории промышленных предприятий и сооружений с повышенным загрязнением, расположенные в населенных пунктах	2000	450 0	2000	250	70	150	0,2	0,3	0,2
3	Площади и улицы с которых уборка осуществляется машинами с пневматическим забором мусора в кузов	200	250 0	200	30	45	75	0,1	0,3	0,1
4	Автомагистрали с интенсивным движением грузового автомобильного транспорта	1300	270 0	1300	60	65	100	0,2	0,3	0,2

Примечание. Для определения количества нефтепродуктов, поступающих на очистное сооружение, рекомендуется вводить коэффициент  $K = 0,4$  к данным по содержанию эфирорастворимых веществ.

Допускается сбрасывать в водоемы поверхностные воды без очистки:

- с городских лесопарков;
- с водосборов площадью до 20 га, имеющих самостоятельный выпуск в водоем.

Эти требования не распространяются на самостоятельные выпуски в водоемы, предназначенные к использованию для питьевого водоснабжения.

На очистные сооружения должна отводиться наиболее загрязненная часть поверхностного стока, которая образуется в период выпадения дождей, таяния снежного покрова и мойки дорожных покрытий.

Пиковые расходы, относящиеся к наиболее интенсивной части дождя и наибольшему стоку талых вод, сбрасываются в водоем без очистки.

По коллекторам дождевой канализации на очистные сооружения могут поступать условно-чистые воды, которые допускается сбрасывать в городскую сеть дождевой канализации:

- условно-чистые производственные воды;
- конденсационные и от охлаждения производственной аппаратуры, не требующие очистки;
- грунтовые (дренажные) воды;
- воды от мойки автомашин после их очистки на локальных очистных сооружениях.

Основная масса загрязнений сточных вод, отводимых водосточными сетями, представлена взвешенными веществами и нефтепродуктами.

В настоящее время на водосточных сетях запроектированы, построены и эксплуатируются очистные сооружения, рассчитанные, в основном, на задержание взвешенных веществ и нефтепродуктов, которые конструктивно и технологически подразделяются на следующие основные типы:

- щитовые заграждения в акваториях рек на выпусках водосточных коллекторов;
- пруды-отстойники;
- сооружения камерного типа с фильтрами доочистки;
- промливневые очистные сооружения с физико-химической очисткой и фильтрами доочистки.

Щитовые заграждения представляют собой полупогружную перегородку между оголовком дождевого коллектора и основным руслом реки (рисунок 4.2).

Часть отгороженной речной акватории между оголовком коллектора и щитовым заграждением работает как отстойник-нефтеловушка и предотвращает попадание в речное русло аварийных и залповых сбросов. Удаление задержанных загрязнений производится периодически с использованием специальных плавсредств.

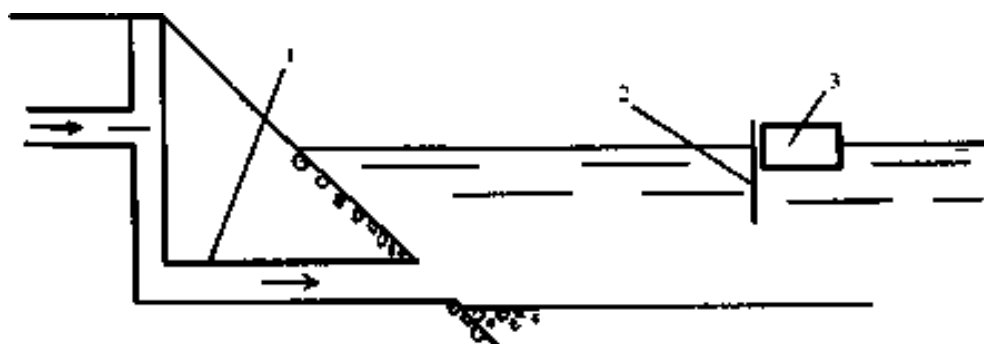


Рисунок 4.2 - Схема щитового заграждения: 1 - береговой выпуск дождевого коллектора; 2 - полупогружная перегородка; 3 - понтоны

Пруды-отстойники представляют собой железобетонные открытые емкости, выполненные в виде горизонтальных отстойников с решетками для задержания мусора и маслосборниками (рисунок 4.3).

После прудов-отстойников возможно устройство искусственных или использование естественных водоемов для доочистки осветленной в отстойниках

воды. В этой схеме также применяется доочистка на фильтрах.

Выпавший осадок периодически удаляется из прудов-отстойников.

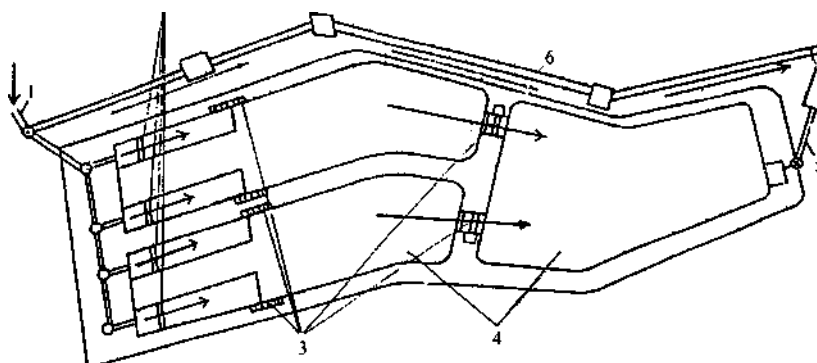


Рисунок 4.3 - Схема пруда-отстойника: 1 - вход воды; 2 - решетки; 3 - маслосборники; 4 - пруды-отстойники; 5 - выпуск осветленной воды; 6 - обводной коллектор

Степень очистки воды на очистных сооружениях следует определять расчетом и принимать не ниже значений, приведенных в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Степень очистки воды в прудах-отстойниках

№ п/п	Вид загрязнений	Степень очистки воды в прудах-отстойниках, % количества поступающих загрязнений, при расчетном времени отстоя воды, ч				
		2	4	6	8	10
1	Взвешенные вещества	80	85	90	95	95
2	Нефтепродукты при содержании, мг/л:					
	до 50	80	80	90	90	90
	до 100	85	85	87	90	90
3	Плавающий мусор	100	100	100	100	100

На сооружениях очистки так называемого промливневого стока, принадлежащих МГУП «Промотходы», используется технологическая схема с физико-химической очисткой поступающей воды (рисунок 4.4).

В данной технологической схеме наряду с песколовками используют регулирующие емкости, позволяющие усреднять пиковые ливневые расходы. В качестве реагента используют сернокислый алюминий. При квалифицированной эксплуатации промливневых очистных сооружений обеспечивается весьма высокое качество очистки воды по основным контролируемым параметрам. Анализ приведенных эксплуатационных данных показывает стабильные показатели очищенного стока, причем эффект очистки по взвешенным веществам и нефтепродуктам составляет 90-95%.

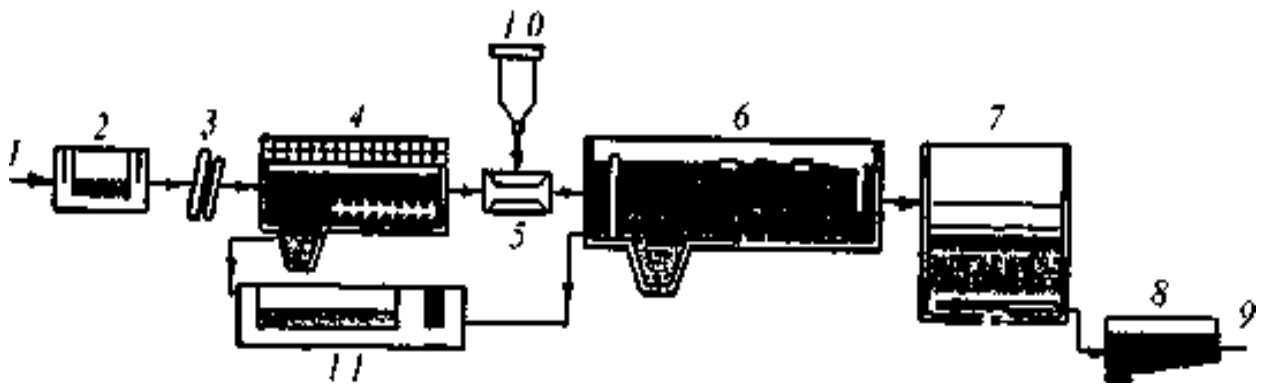


Рисунок 4.4 - Схема очистки проливного стока на МГУП «Промотходы»: 1 - поступающий на очистку сток; 2 - приемная камера; 3 - механизированные решетки; 4 - песколовки; 5 - смеситель; 6 - горизонтальные отстойники; 7 - мелкозернистые фильтры; 8 - резервуар чистой воды; 9 - сброс очищенного стока в водоприемник; 10 - реагентное хозяйство; 11 - бетонированные площадки для переработки нефтесодержащих осадков

Аналогичные показатели обеспечиваются и на других очистных сооружениях, эксплуатируемых МГУП «Промотходы». Технологическая новизна в эксплуатации групповых проливных очистных сооружений заключается в микробиологическом обезвреживании на бетонированных иловых площадках нефтесодержащих осадков из песколовков и отстойников по технологии «олеоворин», при которой обеспечивается деструкция нефтепродуктов до уровня, позволяющего впоследствии размещать эти осадки на полигонах твердых бытовых отходов.

Получаемое качество проливного стока, очищенного на групповых очистных сооружениях, позволяет его повторно использовать для заправки поливочных машин.

Накопленный опыт эксплуатации различных типов очистных сооружений на водосточных сетях позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее дешевые по стоимости и простые по конструкции щитовые заграждения достаточно эффективны и обеспечивают удовлетворительную защиту водоемов от аварийных и залповых несанкционированных сбросов загрязнений;
- пруды-отстойники и сооружения камерного типа при аналогичной эффективности значительно более капиталоемки и целесообразность их широкого размещения вызывает сомнения;



## 5 СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

### 5.1 Состав сточных вод

По природе загрязнения сточных вод подразделяются на органические, минеральные, биологические. Органические загрязнения - это примеси растительного и животного происхождения. Минеральные загрязнения - это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д. Биологические и бактериальные загрязнения - это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные - возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Все примеси сточных вод, независимо от их происхождения, разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

К первой группе примесей относят нерастворимые в воде грубодисперсные примеси. Нерастворимыми могут быть примеси органической или неорганической природы. К этой группе относят микроорганизмы (простейшие, водоросли, грибы), бактерии и яйца гельминтов. Эти примеси образуют с водой неустойчивые системы. При определенных условиях они могут выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

Вторую группу примесей составляют вещества коллоидной степени дисперсности с размером частиц менее  $10^{-6}$  см. Гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий, примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер частиц их затрудняет осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

К третьей группе относят примеси с размером частиц менее  $10^{-7}$  см. Они имеют молекулярную степень дисперсности. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

Примеси четвертой группы имеют размер частиц менее  $10^{-8}$  см, что соответствует ионной степени дисперсности. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, например, аммонийные соли и фосфаты частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако, технология очистки бытовых сточных вод не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют физико-химические методы очистки: ионный обмен, электродиализ.

Различают три основные категории сточных вод в зависимости от их происхождения:

- хозяйственно-бытовые;
- производственные;

– атмосферные.

Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в водоотводящую сеть от жилых домов, бытовых помещений промышленных предприятий, комбинатов общественного питания и лечебных учреждений. В составе таких вод различают фекальные сточные воды и хозяйственные, загрязненные хозяйственными отбросами, моющими средствами. Хозяйственно-бытовые сточные воды всегда содержат большое количество микроорганизмов, которые являются продуктами жизнедеятельности человека. Особенностью хозяйственно-бытовых сточных вод является относительное постоянство их состава. Основная часть органических загрязнений таких вод представлена белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения. Неорганические примеси составляют частицы кварцевого песка, глины, соли, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека. К последним относят фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли. Из общей массы загрязнений бытовых сточных вод на долю органических веществ приходится 45-58 %.

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов. Качество сточных вод и концентрация загрязняющих веществ определяются следующими факторами: видом промышленного производства и исходного сырья, режимами технологических процессов. На предприятиях, например, металлообрабатывающих производственных сточные воды загрязнены минеральными веществами. Пищевая промышленность дает загрязнения органическими примесями. Большинство же предприятий имеет загрязнения сточных вод как минеральные, так и органические, в различных соотношениях. Концентрация загрязнений сточных вод различных предприятий неодинакова. Она колеблется в весьма широких пределах, в зависимости от расхода воды на единицу продукции, совершенства технологического процесса и производственного оборудования. Концентрация загрязнений в производственных сточных водах может сильно колебаться во времени и зависит от хода технологического процесса в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока сточных вод и их концентрации во всех случаях ухудшает работу очистных сооружений и усложняет их эксплуатацию.

Атмосферные сточные воды образуются в результате выпадения осадков. К этой категории сточных вод относят талые воды, а также воды от поливки улиц. В атмосферных водах наблюдается высокая концентрация кварцевого песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города. Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в ливневых водах примесей, характерных для данного производства. Отличительной особенностью ливневого стока является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

В зависимости от гидрогеологических условий местности, характера производственных процессов в данном регионе, расхода воды на хозяйственно-бытовые и производственные цели, выбирается та или иная система водоотведения и, соответственно, схема водоотводящей сети. Загрязнения

хозяйственно-бытовых и производственных стоков влияют на технологию очистки воды и на экологическую ситуацию в данном районе.

## 5.2 Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод

Состав сточных вод и их свойства оценивают по результатам санитарно-химического анализа, включающего наряду со стандартными химическими тестами целый ряд физических, физико-химических и санитарно-бактериологических определений.

Сложность состава сточных вод и невозможность определения каждого из загрязняющих веществ приводит к необходимости выбора таких показателей, которые характеризовали бы определенные свойства воды без идентификации отдельных веществ. Такие показатели называются групповыми или суммарными. Например, определение органолептических показателей (запах, окраска) позволяет избежать количественного определения в воде каждого из веществ, обладающих запахом или придающих воде окраску.

Полный санитарно-химический анализ предполагает определение следующих показателей: температура, окраска, запах, прозрачность, величина рН, сухой остаток, плотный остаток и потери при прокаливании, взвешенные вещества, оседающие вещества по объему и по массе, перманганатная окисляемость, химическая потребность в кислороде (ХПК), биохимическая потребность в кислороде (ВПК), азот (общий, аммонийный, нитритный, нитратный), фосфаты, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы и другие токсичные элементы, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, растворенный кислород, микробное число, бактерии группы кишечной палочки (БГКП), яйца гельминтов. Кроме перечисленных показателей, в число обязательных тестов полного санитарно-химического анализа на городских очистных станциях может быть включено определение специфических примесей, поступающих в водоотводящую сеть населенных пунктов от промышленных предприятий.

Температура - один из важных технологических показателей. Функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. Поэтому температура - один из определяющих факторов процесса седиментации. Важнейшее значение имеет температура для биологических процессов очистки, так как от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска - один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков - свидетельство присутствия производственных сточных вод. Для окрашенных сточных вод определяют интенсивность окраски по разведению до бесцветной, например 1:400; 1:250 и т.д.

Запах - органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяют качественно при температуре пробы 20°C и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т.д. При неясно выраженном запахе определение повто-

ряют, подогревая пробу до 65°C. Иногда необходимо знать пороговое число - наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

Концентрация ионов водорода выражается величиной рН. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Установлено, что сточные воды, подаваемые на сооружения биологической очистки, должны иметь значение рН в пределах 6,5 - 8,5. Производственные сточные воды (кислые или щелочные) должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение. Городские сточные воды обычно имеют слабощелочную реакцию среды рН = 7,2-7,8.

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды нерастворенными и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1-3 см, а после очистки увеличивается до 15 см.

Сухой остаток характеризует общую загрязненность сточных вод органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях (в мг/л). Определяется этот показатель после выпаривания и дальнейшего высушивания при  $t = 105^\circ\text{C}$  пробы сточной воды. После прокаливания, при  $t = 600^\circ\text{C}$ , определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

Плотный остаток - это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод в мг/л. Определяется при таких же условиях, что и сухой остаток. После прокаливания плотного остатка при  $t = 600^\circ\text{C}$  можно ориентировочно оценить соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод. При сравнении прокаленных сухого и плотного остатков городских сточных вод определено, что большая часть органических загрязнений находится в нерастворенном состоянии. При этом минеральные примеси в большей степени находятся в растворенном виде.

---

Взвешенные вещества - показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод. Кроме того, этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников. Количество взвешенных веществ - один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в мг/л, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется зольностью. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно составляет 100 - 500 мг/л.

---

Оседающие вещества - часть взвешенных веществ, оседающих на дно отстойного цилиндра за 2 час отстаивания в покое. Этот показатель характеризует способность взвешенных частиц к оседанию, позволяет оценить максимальный эффект отстаивания и максимально возможный объем осадка, который может быть получен в условиях покоя. В городских сточных водах оседающие вещества в среднем составляют 50-75% общей концентрации взвешенных веществ.

Под окисляемостью понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. Окисляемость - групповой показатель. В зависимости от природы используемого окислителя различают химическую окисляемость, если при определении используют химический окислитель, и биохимическую, когда роль окислительного агента выполняют аэробные бактерии. Этот показатель - биохимическая потребность в кислороде -БПК. В свою очередь, химическая окисляемость может быть перманганатной (окислитель  $\text{KMnO}_4$ ), бихроматной (окислитель  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) и иодатной (окислитель  $\text{KIO}_3$ ). Результаты определения окисляемости независимо от вида окислителя выражают в мг/л  $\text{O}_2$ . Бихроматную и иодатную окисляемость называют химической потребностью в кислороде или ХПК.

Перманганатная окисляемость - кислородный эквивалент легко окисляемых примесей. Основная ценность этого показателя - быстрота и простота определения. Перманганатная окисляемость используется с целью получения сравнительных данных. Тем не менее, есть такие вещества, которые не окисляются  $\text{KMnO}_4$ . Определяя ХПК, можно достаточно полно оценить степень загрязненности воды органическими веществами.

БПК - кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами. БПК определяет количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. БПК характеризует биохимически окисляемую часть органических загрязнений сточной воды, находящихся в первую очередь в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси.

Для математического описания процесса биохимического потребления кислорода наиболее часто используют кинетическое уравнение первого порядка. Для вывода уравнения введем ряд обозначений:  $L_a$  - количество кислорода, необходимое для окисления всего органического вещества, т.е.  $\text{БПК}_{\text{пол}}$ , мг/л;  $L_t$  - то же, потребленное к моменту времени  $t$ , т.е.  $\text{БПК}_t$  мг/л;  $L_a - L_t$  - то же, остающееся в растворе к моменту времени  $t$ , мг/л. В рассматриваемом случае уравнение первого порядка имеет вид:

$$dL_t/dt = K(L_a - L_t)$$

или после преобразования, интегрирования и введения десятичных логарифмов уравнение будет иметь вид ( $k = K \cdot 2,301$ ):

---

$$t = (1/k) \lg[\text{БПК}_{\text{полн}} / (\text{БПК}_{\text{полн}} - \text{БПК}_t)]$$

$k$  - константа скорости потребления кислорода, для городских сточных вод в зависимости от их состава  $k = 0,15- 0,25$ .

Для определения  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  вводят ограничение, по которому процесс биохимического потребления кислорода считается законченным, когда:

$$\text{БПК} = 0,99 \text{БПК}_{\text{полн}},$$

Следовательно, получим уравнение:

$$t = (1/k) \lg[\text{БПК}_{\text{полн}} / (\text{БПК}_{\text{полн}} - 0,99\text{БПК}_{\text{полн}})].$$

Величина  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  определяет расход кислорода в процессе биохимического окисления и является важнейшей технологической характеристикой для любого аэробного биоокислителя.

Азот находится в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы - фекалии, пищевые отходы. Неорганические соединения азота представлены восстановленными -  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  окисленными формами  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NO}_3^-$ . Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины - продукта жизнедеятельности человека. Кроме того, процесс аммонификации белковых соединений также приводит к образованию соединений аммония.

В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах (в виде нитритов и нитратов), как правило, отсутствует. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота. Окисленные формы азота могут появиться в сточной воде лишь после биологической очистки.

Источником соединений фосфора в сточных водах являются физиологические выделения людей, отходы хозяйственной деятельности человека и некоторые виды производственных сточных вод.

Концентрации азота и фосфора в сточных водах - важнейшие показатели санитарно-химического анализа, имеющие значение для биологической очистки. Азот и фосфор - необходимые компоненты состава бактериальных клеток. Их называют биогенными элементами. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен.

Хлориды и сульфаты - показатели, концентрация которых влияет на общее солесодержание.

В группу тяжелых металлов и других токсичных элементов входит большое число элементов, которое по мере накопления знаний о процессах очистки все более возрастает. К токсичным тяжелым металлам относят железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть; к токсичным

элементам, не являющимся тяжелыми металлами, - мышьяк, сурьма, бор, алюминий и т.д.

Источник тяжелых металлов - производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) - органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, обуславливающих растворение этих веществ в маслах и в воде. Примерно 75% общего количества производимых СПАВ приходится на долю анионоактивных веществ, второе место по выпуску и использованию занимают неионогенные соединения. В городских сточных водах определяют СПАВ этих двух типов.

Нефтепродукты - неполярные и малополярные соединения, экстрагируемые гексаном. Концентрация нефтепродуктов в водоемах строго нормируется, и поскольку на городских очистных сооружениях степень их задержания не превышает 85%, в поступающей на станцию сточной воде также ограничивается содержание нефтепродуктов.

Растворенный кислород в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует. В аэробных процессах концентрация кислорода должна быть не менее 2 мг/л.

Санитарно-бактериологические показатели включают: определение общего числа аэробных сапрофитов (микробное число), бактерий группы кишечной палочки и анализ на яйца гельминтов.

Микробное число оценивает общую обсемененность сточных вод микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органическими веществами - источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах  $10^6$  -  $10^8$ .

### 5.3 Анализ состава сточных вод

Показатели санитарно-химического анализа состава сточных вод позволяют оценить возможность использования тех или иных методов и технологий для очистки воды. Для очистных станций важнейшими задачами санитарно-химического анализа являются контроль за процессами очистки и оценка эффективности работы каждого сооружения.

Полный санитарно-химический анализ воды проводится на станциях биологической очистки обычно 1 раз в 10 суток. При этом анализируются среднесуточные пробы, поступающих на станцию сточных вод, и пробы сточных вод после каждого этапа очистки. По результатам анализов рассчитывается эффективность работы очистной станции в целом и отдельных сооружений. Кроме того, измеряются среднесуточные расходы поступающих на станцию сточных вод и выходящих очищенных вод.

Каждый показатель качества воды определенным образом увязан с другими показателями. Комплексная оценка состава воды может быть сделана

только на основании сопоставления всех показателей санитарно-химического анализа. Однако, в зависимости от целей выполнения анализа могут быть выделены наиболее значимые показатели. Расчет необходимой степени очистки, прежде всего, выполняется по показателям взвешенных веществ и по БПК.

Сточные воды считаются слабозагрязненными при концентрации взвешенных веществ и величине БПК<sub>полн</sub> 100 мг/л каждый, средне загрязненными - при концентрации взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> -100-500 мг/л, при величине этих же показателей более 500 мг/л - концентрированными.

Количество органических примесей, поддающихся биохимическому окислению, может быть оценено разностью ХПК - БПК<sub>полн</sub>, отношение величин БПК<sub>полн</sub>, и ХПК также характеризует способность примесей сточных вод к биохимическому окислению. Для бытовых сточных вод это отношение составляет величину 0,86, а для производственных - изменяется в широких пределах, но, как правило, оказывается ниже, чем для бытовых. Для сточных вод, прошедших сооружения биологической очистки, соотношение величин БПК<sub>полн</sub> и ХПК существенно уменьшается.

Рассмотрение показателей БПК, аммонийного азота и фосфатов позволяет оценить количество биогенных элементов, необходимых для процесса биологической очистки. В соответствии со СНиП 2.03.04-85 отношение БПК<sub>полн</sub>:N:P должно соответствовать пропорции 100:5:1.

Хлориды не влияют на биологические процессы очистки сточных вод даже при концентрациях 10 г/л, но во избежание засоления водоемов-приемников очищенных вод - необходимо предотвратить сброс высокоминерализованных производственных сточных вод в городские системы водоотведения. Определение хлоридов необходимо также при анализе сточной воды на ХПК.

Присутствие СПАВ в сточных водах сказывается на всех стадиях очистки. Эти соединения ухудшают процесс седиментации взвешенных частиц, образуют в каналах и аэрируемых сооружениях большое количество пены, тормозят биохимические процессы в биоокислителях. Попадая с очищенной водой в водоем, они серьезно усложняют дальнейшее использование его для бытовых и промышленных целей. СПАВ, в зависимости от степени биологического окисления, подразделяются на три категории: мягкие - 75-85% окисления; промежуточные - 60% и жесткие - менее 50%. Сопоставление отдельных показателей санитарно-химического анализа позволяет оценить точность выполнения анализов, так величина плотного осадка всегда меньше величины сухого, а разность величин сухого и плотного примерно равна концентрации взвешенных веществ.

По взвешенным веществам эффективность очистки:

– на сооружениях механической очистки- 37,4-39,4%, величина показателя снижается до значений 92-146 мг/л;

– после биологической очистки эффект - 89,6-93,2%, при этом концентрация взвеси снижается до 15,2-16,3 мг/л. По показателю БПК<sub>5</sub> эффективность очистки составила:



– на сооружениях механической очистки - 33,6-34,3%, снижение величины показателя до значений - 65-101 мг/л;

– после биологической очистки БПК<sub>5</sub> - 10,3-10,6 мг/л, эффект очистки при этом - 89,6-93%.

После фильтрации концентрация взвешенных веществ и показатель БПК<sub>5</sub> имеют значения соответственно - 5,5-5,7 мг/л и 3,4-4,1 мг/л.

Анализ этих данных позволяет сделать вывод об эффективной работе станции аэрации по основным технологическим этапам очистки, а также в целом.

Состав бытовых сточных вод относительно стабилен. Установлено, что количество загрязнений, поступающее в канализацию от 1 жителя в сутки - величина достаточно постоянная. Исследования позволили определить норму загрязнений на 1 человека в сутки (таблица 5.1).

Таблица 5.1- Норма загрязнений

Показатель	Норма загрязнений, г/(чел.сут)
Взвешенные вещества	65
БПК <sub>ПОЛН</sub> неосветленной жидкости	75
Азот аммонийных солей N	8
Фосфаты P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,3
Фосфаты от моющих средств	1,6
Хлориды Cl	9
СПАВ	2,5

По норме загрязнений и норме водоотведения сточных вод можно рассчитать концентрацию бытовых сточных вод по любому из выше приведенных показателей:

$$C_{\text{б}} = a1000/n,$$

$C_{\text{б}}$  - концентрация загрязнений бытовой сточной воды, мг/л;  $a$  - норма загрязнений, г/(чел сут);  $n$  - норма водоотведения, л/(чел сут).

Концентрация загрязнений в городских сточных водах рассчитывается как средняя величина в соответствии с концентрациями загрязнений бытовой и производственной составляющих:

$$C_{\text{г.с.в.}} = (C_{\text{б}}q_{\text{б}} + C_{\text{пр}} \cdot q_{\text{пр}}) / (q_{\text{б}} + q_{\text{пр}})$$

$C_{\text{пр}}$  - концентрация загрязнений производственных сточных вод, мг/л;  
 $q_{\text{б}}$  и  $q_{\text{пр}}$  - расход бытовых и производственных сточных вод соответственно, м<sup>3</sup> /сут.

## 6 ВОДОЕМЫ, ИХ ОХРАНА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

### 6.1 Условия сброса сточных вод в водоемы

Многообразие количества и качества сточных вод, как производственных, так и хозяйственно-бытовых, определяет выбор системы водоотведения и схемы водоотводящих сетей, и, соответственно, метода очистки.

Санитарная характеристика водоема составляется на основании санитарно-топографического обследования. При этом учитываются также санитарные условия водообеспечения населенных мест. На основании таких обследований составлены показатели качества воды источников водопользования. Они разделяются на три класса (таблица 6.1).

Разделение водных источников по классам показывает большой их разброс по качеству и количеству воды. Показатели качества воды изменяются в зависимости от гидрогеологических условий объекта, его географического положения, а также от наличия сточных вод промышленных предприятий. По своему назначению водные источники делятся на рыбохозяйственные, хозяйственно-бытовые и культурно-бытовые.

Рыбохозяйственные объекты в свою очередь подразделяются на две категории. К первой относят объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных пород рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду. Ко второй - все водные объекты, используемые для рыбохозяйственных целей.

При выпуске очищенных сточных вод в водоем необходимо учитывать категорию водного объекта и ПДК вредных загрязнений. Условия спуска сточных вод в водоемы регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами». Этими правилами установлены нормативы качества воды: для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях.

В соответствии с Правилами запрещается спуск в водоемы сточных вод, которые могут быть использованы путем перехода на безводное производство или путем повторного и оборотного использования.

Правила устанавливают нормативы качества воды водоемов по категориям водопользования: к первой категории относятся участки водоемов, используемые в качестве источников для централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второй - участки водоемов, используемых для спорта и отдыха населения.

Таблица 6.1- Показатели качества воды при водопользовании

Определяемые показатели	Показатели качества воды по классам		
	1-й	2-й	3-й
1. Подземные источники			
Мутность, мг/л	1,5	1,5	10
Цветность, град.	20	20	50
Водородный показатель рН	6-9	6-9	6-9

Продолжение таблицы 6.1

Железо, мг/л	0,3	10	20
Марганец, мг/л	0,1	1	2
Сероводород, мг/л	0	3	10
Фтор, мг/л	1,5-0,7	1,5-0,7	5
Окисляемость перманганатная, мг/л O <sub>2</sub>	2	5	15
Число бактерий группы кишечной палочки (БГКП), количество в 1 л	3	100	1000
<b>2. Поверхностные источники</b>			
Мутность, мг/л	20	1500	10000
Цветность, град.	35	120	200
Запах, балл	2	3	4
Водородный показатель, рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Железо, мг/л	1	3	5
Марганец, мг/л	0,1	1	2
Фитопланктон, мг/л	1	5	50
Клостридии, количество в 1 см	1000	100000	100000
Окисляемость перманганатная, мг/л O <sub>2</sub>	7	15	20
ВПК полн., мг/л	3	5	7
Число лактозо-положительных кишечных палочек (ЛКП), количество в 1 л	1000	10000	50

Приведенные в правилах нормативы качества воды в водоемах относятся к створам, расположенным на проточных участках на 1 км выше ближайшего пункта водопользования, на непроточных участках и водохранилищах - к створам в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.

Уточнение категорий водоемов или их участков производится органами санитарно-эпидемиологической службы и рыбохозяйственными организациями. Общие требования к составу и свойствам воды в водоемах и водотоках соответствующих категорий после выпуска в них сточных вод, подвергшихся необходимой очистке, приведены в таблице 6.2.

Требования к выпуску сточных вод в море соответствуют нормативам приема очищенных сточных вод во внутренние водотоки и водоемы. Однако имеются и некоторые особенности. Согласно «Правилам санитарной охраны прибрежных вод морей», при разработке соответствующих проектов учитываются границы района морского водопользования по береговой линии. В сторону моря она принимается не менее 2 км от береговой линии, далее на 10 км в обе стороны от границ района водопользования по берегу и в сторону моря. Предусматривается первый пояс санитарной охраны. В границах района водопользования сброс очищенных промышленных и бытовых сточных вод, включая судовые, запрещается.

Таблица 6.2 – Допустимые изменения состава воды в водоемах и водотоках после выпуска в них очищенных сточных вод

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
Содержание взвешенных веществ	Допускается увеличение не 0,25 мг/л   0,75 мг/л		более чем на 0,25 мг/л   0,75 мг/л	
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания на 5% (взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются).			
Пленки нефтепродуктов, масел, жиров и других плавающих приме-	Не допускаются			
Запахи, привкусы и окраска	Допускаются запахи и привкусы интенсивностью не более 2 баллов (непосредственно или после хлорирования воды). Окраска не должна обнаруживаться в столбике воды высотой 20см   10см		Посторонние запахи, привкусы и окраска воды, влияющие на мясо рыб, не допускаются.	
Температура воды	Допускается повышение не более чем на 3°С по отношению к среднемесячной температуре самого жаркого месяца.		Допускается повышение не более чем на 5°С к естественной температуре воды (при наличии холодноводных рыб - лососевые, сиговые - общая температура воды не должна превышать 20°С летом и 5°С зимой; в ос-	
Водородный показатель	Не должен выходить за пределы 6,5-8,5			
Минеральный состав воды	Сухой остаток должен быть не более 1000 мг/л (в том числе хлориды до 300 и сульфаты до 100 мг/л).		Не нормируется	

Продолжение таблицы 6.2

Наличие растворенного кислорода	Должно быть не менее 4 мг/л	Должно быть не менее 6 мг/л менее 4-	Зимой подо льдом должно не мг/л, летом не менее
Биохимическая потребность в кислороде - БПК <sub>5,0ЛН</sub> при температуре 20°C	Не должна превышать		
	3 мг/л	6 мг/л	3 мг/л (если в зимний период содержание кислорода в воде снижается для водоемов I категории до 6 мг/л, II категории до 4 мг/л, то разрешается только сброс воды, не влияющий на ВПК).
Возбудители заболеваний	Не допускаются (после обеззараживания биологически очищенных вод коли-индекс не должен превышать 1000 при содержании остаточного хлора 1,5 мг/л).		
Токсичные вещества	Не допускаются в концентрациях, которые могут оказать прямо или косвенно вредное воздействие на живые организмы.		

Спуск сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, в хозяйственно-бытовую систему водоотведения регламентируется «Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений».

Для неидентифицированной смеси радиоактивных веществ, содержащих  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, ПДК составляет  $3 \cdot 10^{11}$  кюри/л.

Радиоизотопы являются биологически-активными в микроколичествах. Они способны избирательно накапливаться на различных субстратах животного и растительного происхождения. Поэтому запрещается спуск сточных вод, содержащих радиоактивные элементы, в водоемы, предназначенные для разведения рыбы и водоплавающей птицы.

Спуск сточных вод в непроточные водоемы, моря или водохранилища в последнее время стал чаще встречаться в санитарной практике. Этот вопрос недостаточно изучен в отношении разбавления и самоочищения. При спуске сточных вод в непроточные водоемы из-за ограниченности их объема нельзя рассчитывать только на разбавление, не выяснив степень стабильности веществ в сточных

водах. Для возможности выпуска сточных вод в такие водоемы необходимо научное обоснование условий спуска сточных вод.

Условия спуска сточных вод в водоемы, изложенные в «Правилах» распространяются на все объекты водоотведения, независимо от их ведомственной принадлежности, при обязательном согласовании с органами государственного санитарного надзора и рыбоохраны.

## 6.2 Влияние сточных вод на водоем

Самоочищающая способность водоема зависит от условий смешения и разбавления сточных вод водой водоемов. Для удовлетворения санитарных требований устанавливают предельно допустимый сброс (ПДС) лимитирующих веществ в целях ограничения поступления загрязнений в водоем со сточными водами.

Уравнение материального баланса имеет вид:

$$q C_{\text{ст.нр}} + Q C_{\text{ф}} = C_{\text{пр}} (q + a Q)$$

ПДС      фон      Нормативное состояние водоема

$q$ ,  $Q$  - расход сточных и речных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{\text{ст. нр}}$ ,  $C_{\text{ф}}$  - концентрация лимитирующего вещества соответственно для нормативно-очищенной сточной воды и в реке выше места выпуска, г/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{пр}}$  - предельно допустимая концентрация в воде в зависимости от вида водопользования, г/м<sup>3</sup>;  $a$  - коэффициент смешения, доли единицы.

Коэффициент смешения  $a$  находят:

$$a = \left( 1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L_{\text{ф}}}} \right) / \left( 1 + (Q/q) e^{-\alpha \sqrt[3]{L_{\text{ф}}}} \right)$$

$e$  - основание натуральных логарифмов;  $L_{\text{ф}}$  - расстояние до расчетного створа по фарватеру, м.

---

Значение  $\alpha$  находят по формуле:

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt[3]{E/q}$$

$\varphi$  - коэффициент извилистости реки;  $\xi$  - коэффициент, зависящий от места выпуска (при береговом выпуске  $\xi = 1$ , при фарватерном -  $\xi = 1,5$ );  $E$  - коэффициент турбулентной диффузии, м/с;  $q$  - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с. Коэффициент извилистости  $\varphi$  определяют по формуле:

$$\varphi = L_{\text{ф}} / L,$$

---

L - длина до расчетного створа по прямой, м.

Коэффициент турбулентной диффузии (для равнинных рек) E находят по формуле:

$$E = v_{cp} H_{cp} / 200,$$

$v_{cp}$  - средняя скорость течения реки, м/с;  $H_{cp}$  - средняя глубина реки на участке между выпуском и расчетным створом, м.

Теоретически расстояние от выпуска сточных вод до створа полного смешения равно бесконечности, поэтому значение коэффициента  $a$ , равное 1, на практике не встречается. Для практических расчетов следует определять расстояние до створа достаточно полного смешения, для которого  $a = 0,95$ ;  $0,9$ , т.е. в котором сточная вода смешивается с 95 или 90% расхода воды реки.

Взаимосвязь протяженности загрязненной струи до расчетного створа  $l_{cm}$  и коэффициента смешения устанавливается формулой:

$$l_{cm} = \left[ \frac{2,3}{\alpha} \cdot \lg \frac{aQ + q}{(1-a)q} \right]^3.$$

При определении в проточных водоемах кратности разбавления  $n$  в расчетных створах пользуются формулой:

$$n = (aQ + q) / q.$$

Степень очистки сточных вод. Технологические расчеты необходимой степени очистки сточных вод базируются на уравнении материального баланса

$$q C_{ст.вр} + Q C_{ф} = C_{пр} (q + a Q)$$

ПДС      фон      Нормативное состояние водоема

Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ. Допустимое содержание взвешенных веществ  $m$  в спускаемых в водоем сточных водах, в соответствии с санитарными правилами, определяется по уравнению:

$$aQb + qm = (aQ + q)(b + p),$$

откуда

$$m = p(aQ/q + 1) + b,$$

$b$  - содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $p$  - допустимое по санитарным правилам увеличение содержа-

ния взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м<sup>3</sup>; Q, q - расходы соответственно речных и сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Необходимую степень очистки по взвешенным веществам, Э<sub>в</sub> в %, определяют по формуле:

$$\text{Э}_в = 100(C-m)/C,$$

C - количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м<sup>3</sup>.

Во избежание отложения взвешенных веществ в водоеме, их гидравлическая крупность не должна превышать 0,4 мм/с при выпуске в реку и 0,2 мм/с - в водохранилище. Если в сточной воде концентрация взвешенных веществ не удовлетворяет этому требованию, то перед сбросом в водоем ее необходимо отстаивать для осаждения взвешенных частиц указанной гидравлической крупности.

При сбросе стоков, содержащей токсичные вещества, необходимо произвести оценку качества сбрасываемой воды по предельно допустимой концентрации по формуле:

$$C_{\text{ст. нр.}} = (n - 1)(C_{\text{пр.}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{нр.}}$$

n - коэффициент разбавления  $n = (q + aQ)/q$ ; C<sub>нр.</sub> = ПДК, если в воде присутствует один вид загрязнений.

При наличии в воде веществ, потребляющих большое количество растворенного в воде водоема кислорода, возможность их сброса устанавливается специальным расчетом - по потреблению растворенного кислорода.

Определение необходимой степени очистки по БПК<sub>полн.</sub>. При расчете учитывается снижение БПК воды за счет разбавления и биохимических процессов самоочищения сточных вод от органических веществ в летний период.

Баланс биохимической потребности в кислороде смеси речной и сточной вод в расчетной точке (без учета реэрации) выражается уравнением:

$$qL_{\text{cm}} \cdot 10^{-k_{\text{cm}}t} + aQL_p \cdot 10^{-k_p t} = (q + aQ)L_{\text{нр.д.}}$$

L<sub>ст.</sub> - БПК<sub>полн.</sub> сточной жидкости, которая должна быть достигнута в процессе очистки, г/м<sup>3</sup>; L<sub>р</sub> - БПК<sub>полн.</sub> речной воды до места выпуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>; L<sub>нр.д.</sub> - предельно допустимая БПК<sub>полн.</sub> смеси речной и сточной воды в расчетном створе, г/м<sup>3</sup>; k<sub>ст</sub> и k<sub>р</sub> - константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой; t - продолжительность пробега воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта, сут.

Отсюда

$$L_{\text{cm}} = [aQ/(q \cdot 10^{-k_{\text{cm}}t})] \cdot (L_{\text{нр.д.}} - L_p \cdot 10^{-k_p t}) + L_{\text{нр.д.}} / 10^{-k_{\text{cm}}t}$$



Необходимая степень очистки по БПК  $\mathcal{E}_B$ , %, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_B = 100(L_a - L_{ct}) / L_a.$$

Определение необходимой степени очистки по растворенному кислороду в воде водоема. Допустимую максимальную величину БПК спускаемых в водоем сточных вод определяют по требованиям санитарных правил. При этом минимальное содержание растворенного кислорода в зависимости от вида водопользования должно быть 4 или 6 мг/л после спуска сточных вод. Расчеты производятся для величины БПК<sub>полн</sub>. Кислородный режим в водоемах определяют для летнего и зимнего периода. В качестве расчетного принимается наиболее неблагоприятный.

Окисление органических веществ в водоеме происходит за счет растворенного кислорода и реаэрации. Кроме того, в нем участвует кислород фотосинтеза. Наименьшее содержание кислорода в воде после спуска сточных вод будет наблюдаться в критической точке (рисунок 6.1).

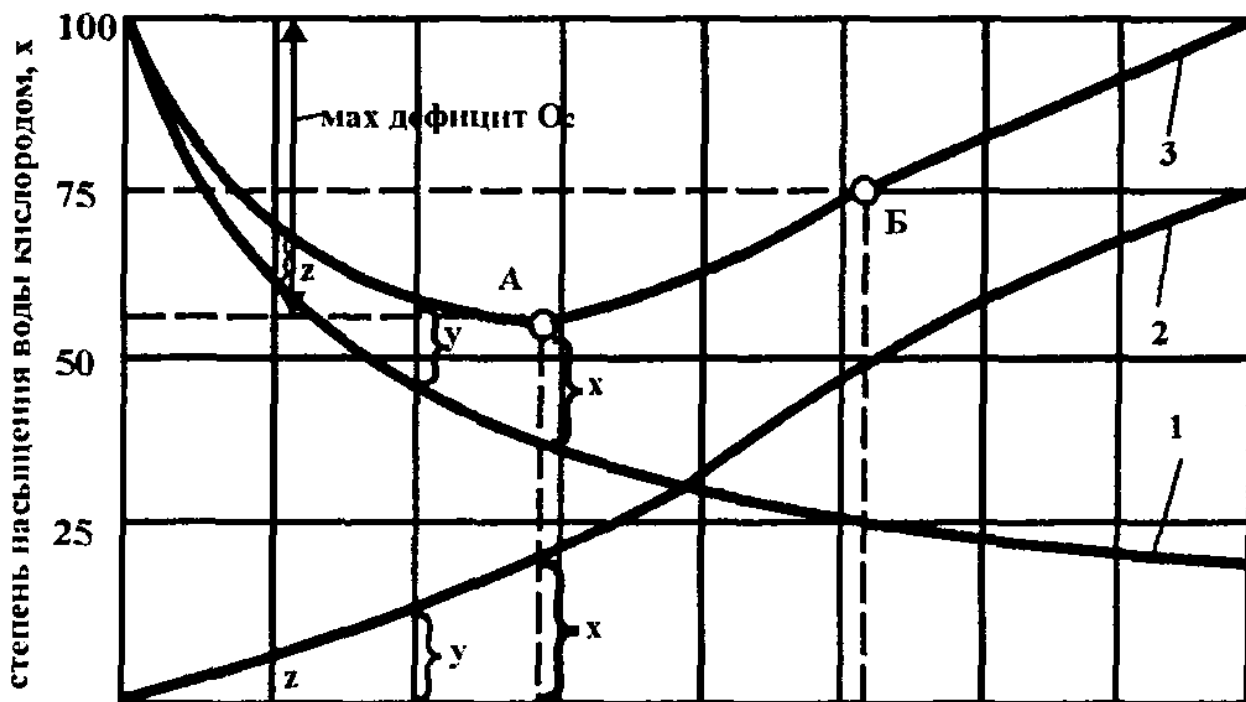


Рисунок 6.1 - Схема изменения кислородного баланса: 1 - степень потребления кислорода без реаэрации; 2 - процесс реаэрации; 3 - процесс реаэрации; А - критическая точка максимального дефицита кислорода; Б - точка максимальной скорости восстановления кислорода

Существует ряд способов определения допустимой нагрузки сточных вод на водоем по содержанию кислорода. Наиболее простой основан на учете поглощения сточными водами только того растворенного кислорода, который подходит с речной водой к месту спуска сточных вод. При этом считают, что если концентрация в речной воде растворенного кислорода не станет ниже 4 мг/л в течение двух суток, то это снижение не произойдет и в дальнейшем. Это условие выражено уравнением:

$$aQO_p - 0,4 (aQL_p + qL_{ст}) = 4 (aQ+q),$$

$O_p$  - содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $aQ$  - расчетный расход речной воды в м<sup>3</sup>/с, участвующий в смешении;  $q$  - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $L_p$  и  $L_{ст}$  – БПК<sub>полн.</sub> соответственно речной и сточной воды, г/м<sup>3</sup>; 0,4 - коэффициент для пересчета БПК<sub>полн.</sub> в двухсуточное; 4 - наименьшая концентрация растворенного кислорода, которая должна сохраниться в воде водоема, г/м<sup>3</sup>.

Таким образом, приведенное выше уравнение составлено из условия, что весь наличный запас растворенного кислорода должен быть израсходован на окисление органического загрязнения речной и сточной воды. В результате концентрация растворенного кислорода в общей смеси должна быть равна или 4, или 6 мг/л. Допустимая концентрация сточных вод при этом условии будет равна

$$L_{ст.} = (2,5aQ/q) \cdot (O_p - 0,4L_p - 4) - 10$$

Второй способ расчета позволяет учитывать процессы поглощения кислорода сточными водами из речной воды и поверхностную реаэрацию.

При расчете кислородного баланса по этому способу, кроме указанных выше величин, учитывают среднюю скорость движения воды в водоеме, температуру воды в реке в расчетный период, константы скорости биохимического поглощения кислорода и скорости поверхностной реаэрации. Расчет кислородного режима будет более точным в том случае, если все указанные величины определяются прямым путем. В этом случае в водоеме создается более напряженный кислородный режим, уточняется критическое время от начала процесса, когда дефицит кислорода достигает максимума. При этом величина  $L_a$  является средней и устанавливается по формуле:

$$L_a = (L_p aQ + L_{ст} q) / (aQ + q),$$

$L_a$  – БПК<sub>полн.</sub> в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/л.

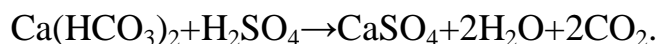
Определение необходимой степени очистки по температуре воды водоема. Расчет производится в соответствии с санитарными требованиями, ограничивающими повышение летней температуры воды за счет поступающих в водоем сточных вод по уравнению

$$T_{ст} = (aQ/q + 1) \cdot T_d + T_p$$

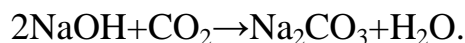
$T_{ст}$  - температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования;  $T_p$  - максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время;  $T_d$  - допустимое повышение (не более чем на 3°C) температуры воды водоема.

Определение необходимой степени разбавления по запаху, окраске, и привкусу. В тех случаях, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах сточных вод исчезают, достаточно сравнение величины разбавления, которое возможно у расчетного створа. Это необходимо для того, чтобы решить вопрос о необходимости очистки сточных вод в отношении запаха и окраски перед их спуском в водоем.

Определение необходимой степени очистки по изменению активной реакции воды. При решении вопроса о спуске кислых или щелочных сточных вод необходимо учитывать нейтрализующую способность водоема. Вода водоемов содержит гидрокарбонаты кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , обуславливающие ее бикарбонатную жесткость. Кислоты, поступающие в водоем с производственными сточными водами, взаимодействуют с гидрокарбонатами. При этом их содержание в воде уменьшается, а концентрация свободной угольной кислоты увеличивается. Реакция нейтрализации в водоеме происходит по следующей схеме



Поступление в водоем щелочных сточных вод приводит к их взаимодействию со свободным диоксидом углерода. При этом увеличивается щелочность воды. Реакция протекает в этом случае по следующей схеме



При сбросе в водоем кислых сточных вод, их следует нормировать по значению рН речной воды.

$$\text{pH}_\phi = \text{pk}_1 + \lg(n_p A [\text{HCO}_3^-] - n_\phi B) / (n_p A [\text{CO}_2/44] + n_\phi B) \geq 6,5,$$

$\text{pk}_1$  - отрицательный логарифм первой константы диссоциации угольной кислоты;  $[\text{HCO}_3^-]$  - концентрация гидрокарбонатов, мг-экв/л;  $\text{CO}_2$  - концентрация диоксида углерода, мг/л;  $A = 1 + 10^{\text{pH}_\phi - \text{pk}_1}$ ;  $B = [\text{HCO}_3^-] - \text{CO}_2/44 - 10^{\text{pH}_\phi - \text{pk}_1}$ ;  $n_p$  и  $n_\phi$  - кратности разбавления, расчетная и фактическая;  $\text{pH}_\phi$  - рН речной воды в контрольном пункте при фактическом режиме.

При сбросе в водоем щелочных сточных вод также определяется значение рН речной воды:

$$\text{pH}_\phi = \text{pk}_1 + \lg(n_p A [\text{HCO}_3^-] - 0,273 n_\phi B) / (n_p A [\text{CO}_2/44] + n_\phi B) \leq 8,5$$

$A = 0,273 - 10^{\text{pH}_\phi - \text{pk}_1}$ ; параметр  $B$  определяется так же, как и при сбросе кислых сточных вод.

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному показателю вредности. При определении необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептиче-

скому показателям вредности, пользуются уравнением материального баланса.

$$q C_{\text{ст.нр}} + Q C_{\text{ф}} = C_{\text{нр}} (q + a Q)$$

ПДС      фон      Нормативное состояние водоема

При этом установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) на вещества и показатели. Полученное по этой формуле значение  $C_{\text{ст.нр}}$  характеризует концентрацию загрязнения сточных вод, которая должна быть достигнута в процессе очистки воды. Эти расчеты позволяют определить необходимую степень очистки сточных вод, разработать технологическую схему процесса обезвреживания и установить предельно допустимый сброс (ПДС) загрязнений при спуске сточных вод в водоем.

ВЫ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения. Учебник для ВУЗов. М: Стройиздат, 1987. - 336 с.
2. Калицун В.И. Гидравлический расчет водоотводящих сетей. Справочное пособие. М.: Стройиздат, 1987. - 72 с.
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. В.Н. Самохина. Изд. 2-е. М., Стройиздат, 1981. - 639 с.
4. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Контроль качества воды - 2-е издание - М.; Стройиздат, 1986. - 158 с.
5. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных очистных сооружений. Учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1987. - 256 с.
6. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. Справочное пособие. - 5-е изд. М.: Стройиздат, 1987. -152с.
7. Москвитин Б.А., Мирончин Г.М., Москвитин А.С. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений. М: Стройиздат, 1984.-192 с,
8. Орлов В.А., Харькин В.А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. М.: Стройиздат, 2001. - 96 с.
9. Правила охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами. Утверждено 21.01.91. Гос. Ком. по охране природы СССР. М., 1991.-34 с.
10. Проектирование пластмассовых трубопроводов. Справочные материалы. Под. ред. В.С. Ромейко. М.: ТОО «изд. ВНИИМП». 2001. -134с.
11. Родзиллер И.Д. Прогноз качества водоемов приемников сточных вод. М.: Стройиздат, 1984. - 261 с.
12. Синельников В.Е. Механизм самоочищения водоемов. М.: Стройиздат, 1980.-111 с.
13. Трубы и детали трубопроводов из полимерных материалов. Справочные материалы. Под ред. В.С. Ромейко. М.:ТОО «Изд. ВНИИМП»,2001.-126с.
14. Федоров Н.Ф., Курганов А.М., Алексеев М.И. Канализационные сети. Примеры расчетов. Учебное пособие для ВУЗов 3-е изд. М.: Стройиздат, 1985. - 223 с.
15. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. Изд. 5-е , перераб. М., Стройиздат, 1977. - 224 с.
16. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Калицун В.И. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для ВУЗов. М., Стройиздат, 1996.- 591 с.
17. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов: - М.: АСВ, 2002.- 702с.
18. СНИП 2.04.03-85 Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения. М., ЦИТП, 1986. - 72 с.